中央研究院近代史研究所集刊
第 64 期（民國 98 年 6 月），41-85
©中央研究院近代史研究所

蒸汽推動的歷史：蒸汽技術與晚清中國社會變遷(1840-1890)*

王憲群**

摘　要

本文討論鴉片戰爭之後，中國的文化與社會體系如何因為蒸汽技術的引進而產生變化。蒸汽機是推動西洋工業革命的推手，工具機與工程繪圖則是製造蒸汽機過程中不可或缺的技術。前者是精密製造的工具，後者則是技術人員間的溝通工具，而中國技術傳統之中卻缺乏此二項核心技術。從 1840 年代中國人目擊英國蒸汽船，就開始從錯誤中實驗蒸汽技術，進而在 1860 年代設立機構，也就是製造局，引進工具機、聘請西洋技術人員，教導中國工人蒸汽技術的知識與技巧。1860 年代到 1880 年代之間，製造局在蒸汽技術上有長足的進步，但是卻因政府財政困難，發展受到限制。另外，私人或清朝政府關於發展技術的其他計畫，也因為缺乏聚集資本的制度而受限。然而公司制度已然引進中國，成為未來中國工業技術發展中，用以集資的重要機制。本文的結論是，晚清中國發現了蒸汽機作為動力的來源，而引進蒸汽技術，是中國在技術、文化與社會的革命性改變。

關鍵詞：技術、蒸汽機、工具機、繪圖、制度

* 筆者感謝香港中文大學科大衛(David Faure)教授與賀喜博士，以及兩位匿名審查人的寶貴意見。
收稿日期：2009 年 2 月 25 日，通過刊登日期：2009 年 5 月 1 日。
** 中央研究院近代史研究所博士後研究

前　言

文化、社會與技術發展相互影響的關係，一直是西方歷史學者重視的課題，近年來中國史學者也開始在這方面進行討論，並有了一定的成果。[1]但是中國近代史上的技術如何引動社會變遷的課題仍然在兩極之間擺盪。費正清(John King Fairbank)等學者認爲晚清是一個近代化失敗的時代，這個論點早已經得到學者的批評。[2]彭慕蘭(Kenneth Pomeranz)在討論「大分流」之際，表示十八世紀之前中西技術與社會並沒有本質的差異。[3]艾爾曼(Benjamin Elman)則追溯了明清以來中國接觸西方科學的歷史，他認爲自強運動的成敗不能以甲午戰爭的結果來判定；[4]他的說法延伸了 1960 年代羅林森(John Rawlinson)的論點。[5]然而歷史學者尚未回應科學技術史學者李約瑟(Joseph Needham)與白馥蘭(Francesca Bray)等人對於技術如何與文化社會交互影響的討論。[6]近代史家多年來討論自強運動的成敗，仍然需要面對一個問題：中國傳統技術體系如何能夠轉型成爲近代技術？西方工業革命的核心是蒸汽機，然而中國明清以前的技

---

1 例如，黃一農教授認爲西洋大砲傳入中國，對中國明清之際的歷史發展有決定性的影響。黃一農，〈明末薩爾滸之役的潰敗與西洋火砲的引進〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，第 79 本第 3 分(2008)，頁 377-413；〈歐洲沉船與明末傳華的西洋大砲〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，第 75 本第 3 分(2004)，頁 573-634；〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》，2004 年第 4 期，頁 74-105。

2 John King Fairbank and Edwin O. Reischauer, *China: Tradition and Transformation* (Boston: Houghton Mifflin, 1973). 對於費正清的批評請見 Paul A. Cohen, *Discovering History in China: American Historical Writing on the Recent Chinese Past* (New York: Columbia University Press, 1984).

3 Kenneth Pomeranz, *The Great Divergence: China Europe, and the Making of the Modern World Economy* (Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2000), pp. 43-68.

4 Benjamin Elman, *On Their Own Terms: Science in China, 1550-1900* (Cambridge: Harvard University Press, 2005).

5 John Rawlinson, *China's Struggle for Naval Development, 1839-1895* (Cambridge: Harvard University Press, 1967).

6 李約瑟主張，中國與世界其他文化共同對近代科學的發展有所貢獻，但是他將技術視爲應用科學。白馥蘭則不認同這一點，並主張技術體現不同的文化內涵，換句話說，不同的文化內涵，使得技術發展有所差異。Joseph Needham, *Science and Civilisation in China,* multi volumes, (Cambridge: Cambridge University Press, 1954-2008); Francesca Bray, *Technology and Gender: Fabrics of Power in Late Imperial China* (Berkeley: University of California Press, 1997).

術傳統卻沒有創造出類似的技術。中國如何引進近代西方技術？新的技術對原有的社會結構產生什麼樣的衝擊？[7]

本文以蒸汽技術爲討論中心，首先探討晚清中國從傳統技術進入近代技術的過程，以及近代技術所引發社會在制度(institution)上的變遷。其次，討論中國如何突破中西技術的差異，以致於不單以實驗的方式製造出蒸汽機，並創造出新機構、利用西方技術人才、訓練大批中國工程師與工人，以及大量製造西式船砲。同時，本文也討論資金籌措的問題對中國引進西方技術的限制。本文的結論是，近代技術在中國從傳統進入近代社會的過程中扮演決定性的角色。

中西技術傳統比較

技術發明並非普世皆同，在不同的文化內涵與社會經濟結構下，中西工匠各自運用自然環境中的各種材料，發展出各具特色的技術專長。中西技術比較早有史家的詳細研究，無須筆者贅述。但是在此筆者所欲強調的，則是中西在材料的運用方式、工具以及技藝傳承方式等的異同與發展結果，並作爲討論十九世紀中國轉移西方科技的分析背景。

蒸汽機使得西方技術在十八世紀獨樹一格。但是蒸汽機並非一夕創造，乃是結合幾個原本獨立的技術傳統所創造出來的。首先，蒸汽機的原理乃是利用蒸汽壓力來推動汽缸內的活塞，蒸汽膨脹的現象古希臘人早就已經發現了，然而要利用蒸汽成爲動力，需要精密製造機械零件的工具機(machine tools)。[8]歐

---

7 王家儉，〈晚清時期我國科技發展的鳥瞰〉，《師大學報》，期 30（1985 年 6 月），頁 349-365，可與本文相互啓發。此一文章反映 1990 年代之前，學者對晚清史所關注的問題在於自強運動是否成功。

8 古希臘人亞歷山大的西羅(Hero of Alexandria)曾經發明一個風神之球(Aerolipile)，以蒸汽來轉動圓球，但是此一裝置並沒有實際功能。十七世紀歐洲人發現了大氣壓力，1698 年英國人薩維里(Thomas Savery)利用冷凝蒸汽的方式，在一個長管子中造成局部真空，而能夠利用大氣壓力在礦坑裡進行抽水。到了 1712 年，紐科門(Thomas Newcomen)則在薩維里的基礎上，發明有汽缸與活塞的蒸汽機，在汽缸內冷凝蒸汽，而大氣壓力則將活塞往下壓而造成拉力。但是此時的蒸汽機只是作爲抽水之用，也非常消耗燃料，只能用在燃料便宜的地方（例如煤礦）。蒸汽機的突破是瓦特的兩項發明，他在 1765 年發明了外部冷凝器(external condenser)，在這一個器具裡

洲工具機的傳統源自於切割鐘錶中金屬零件的小車床，類似原理的工具從十八世紀之前，就已經運用在製造槍砲及其他機械金屬零件。[9]而蒸汽機的革命性發展之一，就是瓦特(James Watt, 1736-1819)利用砲膛的膛床(boring machine)來製造蒸汽汽缸，大幅改進蒸汽機的效率，使得原來作爲抽水之用的蒸汽機得以成爲工業生產的動力。而蒸汽機的動力推動工具機，幫助金屬鍛鑄與削切的技術大幅進展，讓金屬取代木材與其他材料，成爲主要的機械製造材料。[10]

第三項重要的技術傳統則是視覺溝通的工具。學者已然指出，西方科技的發展大幅仰賴科學家與工程師利用共通的繪圖語言，將科技訊息準確地傳達給旁人。這就是法國學者拉圖(Bruno Latour)所謂的「不變異的移動」(immutable mobiles)。[11]換言之，西方繪圖可以跨越時間、空間的限制，而傳達精確的科技訊息。但是繪圖一如語言，需要共通的規範。近代西方工程繪圖(engineering drawing)的創造，源自於文藝復興時期，工匠在紙上繪出圖形並照圖製作，而同時期的藝術家也利用幾何學，在平面媒體上創造三度空間的視覺效果。[12]十七到十八世紀間，由於幾何學家的研究，結合藝術家的繪圖技巧，以及工藝製造上的需求，創造出工程繪圖。十八世紀末，雄霸蒸汽機製造業的瓦特就大量使用繪圖，來傳遞技術訊息給製造工人，在工廠製造零件的過程中控制製造品質。因此工業繪圖規範在十八世紀開始逐漸標準化，創造出我們現今熟知的工程製圖。[13]

面來冷凝蒸汽，保持汽缸溫度一致。第二是用膛床來製造汽缸。Charles Singer et al., eds., *A History of Technology, vol. 4, The Industrial Revolution* (Oxford: Oxford University Press, 1958), pp. 168-197.

9 A. R. Hall, “Military Technology,” in Charles Singer et al., eds., *A History of Technology, vol.3, From the Renaissance to the Industrial Revolution, c.1500-1750* (Oxford: Oxford University Press, 1957), pp. 347-376.

10 工具機的歷史請參見 L. T. C. Rolt, *Tools for the Job* (London: Her Majesty’s Stationery Office, 1986).

11 Bruno Latour, “Drawing Things Together,” in Michael Lynch and Steve Woolgar, eds., *Representation in Scientific Practice* (Cambridge: MIT Press, 1990), pp. 19-68.

12 William M. Ivins, Jr., *Prints and Visual Communication* (Cambridge: MIT Press, 1969), pp. 51-63.

13 有關機械繪圖的討論，請見 Peter Jeffrey Brooker, *A History of Engineering Drawing* (London: Chatto & Windus, 1963)；Ken Baynes and Francis Pugh, *The Art of the Engineer* (Guildford, Surrey:

西方技術進展到了十九世紀之後，得利於科學與技術的結合，因而超越了工匠在機械上的創意發明。1850 年代之後，熱力學(thermodynamics)成為機械設計的理論基礎，其中微積分為不可或缺的計算工具，也成為訓練工程師的必要知識基礎。[14]因此，十九世紀中期以後，工業技術達到以數學來定義的精密度，如此發展出來的技術，超出歐洲數百年來師承口傳的體系。近代學校體系教導基礎科技知識、訓練專業工程師；工人則在工廠之中進行學徒訓練，專精工具機的操作，以製造工程師所設計的機械零件；而傳統手工技藝精巧的工匠，則逐漸成為技術舞台的配角。[15]

但是，十九世紀之前的中國傳統技術，卻在一條不同的道路上發展，中國並未發展出動力。此外，中國工匠雖然能夠製造出非常精巧的器物，對於金屬則著重在鍛造，而非削切。[16]雖然中國工匠已然發展出削切木材與玉石的車床，卻沒有將類似的工具原理運用於切割金屬材料。[17]

中國工匠的視覺溝通工具與歐洲工匠略有不同，並非侷限於繪圖。現存無數的例子說明中國畫家與畫匠能夠畫出器物細節，也能夠展現建築物或器物平行線。此外，中國數學家也同樣鑽研幾何學。但是依此來論證中國傳統繪圖相同於西洋機械製圖，恐怕低估了西洋繪圖從文藝復興以來結合藝術繪畫技巧、

Lund Humphries Publishers Ltd., 1981); Ken Alder, *Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763-1815* (Princeton: Princeton University Press, 1997), pp. 132-146.

14 請參見 Crosbie Smith, *The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain* (Chicago: University of Chicago Press, 1998).

15 關於近代技術教育體系與工匠職業的變化，請參見 Robert R. Locke, *The End of the Practical Man: Entrepreneurship and Higher Education in Germany, France, and Great Britain, 1880-1940* (Greenwich: JAI Press, 1984).

16 有關中國傳統金屬技術的討論，可參見華覺明，《中國古代金屬技術：銅和鐵造就的文明》（鄭州：大象出版社，1999）（感謝匿名審查人告知此書）；Joseph Needham, *Science and Civilisation in China, vol. 5, Chemistry and Chemical Technology, part 2 Ferrous Metallurgy, contributed by Donald B. Wagner* (Cambridge: Cambridge University Press, 2008).

17 中國傳統工具中削切木材之用的車床請參見 Rudolf P. Hommel, *China at Work* (Cambridge: MIT Press, 1969, reprint of the 1937 edition), pp. 252-254；清代光緒年間，李澄淵繪製的「玉作圖」中，繪有切割玉石的工具，也是依據車床的原理。筆者也在廣州的廣東民間工藝博物館中，見到傳統削切玉石的車床。感謝中央研究院近代史研究所賴惠敏研究員與王正華副研究員兩位對筆者指出，清宮工匠使用小車床來進行精密製造。

幾何研究，以及工匠間社會關係變化的複雜歷史，也忽略了中國自成一格的文化與技術體系。[18]主要的問題在西洋機械製圖是控制製造的一環，中國繪圖的功能則未必相同。依據現有材料，中國工匠不單使用繪圖，也使用模型來傳達技術訊息。舉例來說，宮廷的製造最注重精密度，甚且利用《匠作則例》的法規來規範宮廷所屬作坊，但是宮廷瞭解繪圖的侷限性，因而在訂製器物的時候，同時發下「紙樣」（圖）與「樣」（模型，材質為蠟、木等等），來要求工匠的製造品質。[19]另一個例子，則是以掌管清宮建築工程著名的「樣式雷」家族，他們留下了圖紙與「燙樣」（模型），是中國建築製作上精密控制的典範。不只是宮廷作坊，民間的工匠也是依照類似的製作過程，在 1795 年印行的《揚州畫舫錄》中有這樣一段說明：

> 造屋者先平地盤，平地盤又先於畫屋樣，尺幅中畫出闊狹淺深高低尺寸，搭簽註明，謂之圖說，又以紙裱使厚，按式做紙屋樣，令工匠依格放線，謂之燙樣。[20]

---

18 有學者認為中國人缺乏利用圖像思考機器運作的能力，因而阻礙了中國技術的進展。如 Peter Golas, "Like Obtaining a Great Treasure," in Francesca Bray et al., eds., *Graphics and Text in the Production of Technical Knowledge in China: The Warp and the Weft* (Leiden: Brill, 2007), pp. 569-614. 但是有些學者則主張，中國的繪圖不但能夠表現器物的細節，也同時具備了類似西方機械繪圖的技巧。如劉克明、胡顯章，〈中西機械製圖之比較〉《清華大學學報（哲學社會科學版）》，卷 11 期 2(1996)，頁 91-98；劉克明、楊叔子〈中國古代圖學對現代工程圖學的貢獻〉《工程圖學學報》，1999 年第 3 期，頁 116-124；張柏春、田淼，〈中國古代機械與器物的圖像表達〉，《故宮博物院院刊》（北京），2006 年第 3 期，頁 81-96（感謝匿名審查人指出此篇文章）。誠然，工匠勢必在某種程度上使用圖形來傳達物件形狀，筆者更完全同意雙方的論點：有些中國繪圖能夠將器物的細微之處表達出來，也有些繪圖太過粗略而難與西方工業製圖匹敵。但是辯論雙方學者所引用的中國繪圖，多為藝術創作或科技刊物書籍中的圖，中西雙方在類似書籍與繪畫中所展現的器械都是精粗皆俱；這樣的比較，忽略了西方機械製圖乃是作為控制製造的一種工具。中國傳統的繪圖不論精粗，誠然可以作為一種圖示(illustration)，是否足夠成為近代定義的技術繪圖(technical drawing)，恐有疑問。因此，筆者同意 Peter Golas 使用「技術圖示」(technical illustration)一詞，來描述中國展現器械的繪圖，並認為我們需要回答「繪圖是做什麼用的？」(what are the drawings meant to be?)並將重點放在那些用在控制器物製造品質的繪圖，我們才更能瞭解中國工匠視覺溝通的工具是什麼。限於篇幅與主旨，筆者將另外撰文討論。

19 筆者感謝北京故宮博物院宮廷部羅文華先生與台北故宮博物院器物處張麗端小姐，提供寶貴意見。張麗端，〈從《活計檔》看清高宗直接控管御製器用的兩個機制〉，《故宮學術季刊》，卷 24 期 1（2006 年 9 月），頁 45-62。

20 李斗，《揚州畫舫錄》（台北：學海出版社據清乾隆 60 年(1795)鐫自然盦藏板本影印，1969），

也就是說，工匠在造房子之前先繪圖，標明尺寸，然後用紙做出模型，再依據模型的尺寸放大來製作。換言之，中國工匠製造的程序並不一定像西方一樣單純仰賴圖紙，而是充分利用模型的眞實感。

在這兩種不同的知識與技術體系之間進行技術轉移，並非輕而易舉，如何傳遞技藝與知識乃是關鍵。即便是技術背景相類似的西歐國家之間，也曾遭遇技術轉移的困難。以瓦特的蒸汽機爲例，縱使瓦特將工程製圖送達法國工匠手中，法國工匠所製造出來的蒸汽機也不一定能運轉，而必須要由瓦特親自到法國指導，才能完成蒸汽機。[21]中西技術交流的處境也非常類似。學者指出，十六世紀以來，西歐耶穌會士已然將部份的科學、數學、天文曆法以及鐘錶火砲製造的技術傳入中國。[22]清宮之中使用耶穌會士與歐洲鐘錶匠所製作的鐘錶，也引進了製作鐘錶零件的小車床。[23]也就是說，當時的中國人學習西洋科技，得利於耶穌會士及其工匠身處中國的優勢，他們能夠直接從西洋工匠學習到知識與技藝。然而，溝通的工具乃是重點。耶穌會士多懂得中國語言，也有中國助手來幫助他們撰寫中文書籍；但是要達到完整的溝通並非易事，文字的轉譯已不容易，圖形的轉譯也因繪圖規範不同而有所窒礙。這一點我們可以在十七世紀明代的《遠西奇器圖說錄最》（簡稱《奇器圖說》）中得到印證。[24]

《奇器圖說》是耶穌會士鄧玉函〔Johann Terrenz(Schreck), 1576-1630〕根據從西歐帶到中國的書籍所翻譯而成。圖一是《奇器圖說》中的圖，而圖二則

卷 17，頁 835。

21 Ken Baynes and Francis Pugh, *The Art of the Engineer*, pp. 36-37, 60-69; Ken Alder, *Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763-1815*, p. 141.

22 以火砲技術爲例，耶穌會士湯若望(Johann Adam Schall von Bell, 1591-1666)口述，而由焦勗撰寫而成的《則克錄》（又名《火攻挈要》）。此書一直到晚清仍在士人與官員間廣爲流傳，也有可能中國造砲工匠會在鑄造砲管的時候，參考此書所記載的技藝。這點値得進一步深入探討。

23 有關耶穌會士在華的歷史著作非常豐富，無法一一列舉，可參見安田朴、謝和耐等著，耿昇譯，《明清間入華耶穌會士和中西文化交流》（成都：巴蜀書社，1993）；Benjamin Elman, *On Their Own Terms*。有關清宮中的鐘錶，請見 Catherine Pagani, *Eastern Magnificence and European Ingenuity: Clocks of Late Imperial China* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001).

24 鄧玉函口授，王徵譯繪，《遠西奇器圖說錄最》（清道光十年(1830)來鹿堂刊本，中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館藏）。

是義大利原書中的圖。圖二大致依循西方的繪圖規範，有一定程度的透視法，也運用線條來表達陰影與物件的形狀。從這幅圖我們可以瞭解這個機器裝置的原理，是由一個人在大輪子中走動作爲動力。大輪子的輪軸左右各連上一個曲軸、各穿過一個橢圓圈；橢圓圈是一個連動桿的一部份，連動桿伸入抽水的長圓筒內，連接裡面的內筒，內筒與外筒的底部各有一個活門。當大輪中的人走動的時候，曲軸也隨之轉動，帶動連動桿上下運動，也帶動抽水的抽水內筒。內筒往上移動的時候，外筒活門便會打開，讓水流入筒內，而內筒的活門則會關閉，將水往上帶；當內筒往下移動的時候，外筒活門便會關閉，而內筒活門打開，讓原筒外面的水流進去。

然而，《奇器圖說》中的圖卻無法表達這個運作原理，機器各個組件之間的聯繫關係都消失了。大輪子與曲軸之間失去聯繫，抽水圓筒的形狀也不存在了，變成兩個長方形的物體，而裡面則有幾個圓圈狀的物件，但相互之間沒有連接關係。有可能臨摹原圖的中國畫匠並未見過類似的機械結構，因而無法瞭解原圖的機械原理，也就無法臨摹。另一個可能性是他不懂得西洋繪圖規範；由於義大利原圖利用較淡的線條表現圓桶內的物件，而中國繪圖中似乎並沒有類似的技巧來表達物件之內、或物件之後的物件，因此他有可能想要將所見到的圓形物件凸顯出來。換言之，西方工匠有可能依照原圖製造出一座類似的機器，但是《奇器圖說》的圖卻予人太多的想像空間，中國工匠因而無法憑藉此圖所透露出來的訊息製造機器，必須要自行發明創造。這裡的討論並不在表示中國人沒有理解西洋機械的能力，也非意指中國繪圖缺乏描繪器物細節的技巧，而是要凸顯共通的繪圖規範在傳遞技術訊息上的重要性。

筆者必須要強調，本節的討論絕非否定中西技術之間完全沒有共同之處，而是我們需要回答：技術傳統之中不同的部份如何結合在一起，並創造了什麼樣的技術成果？中西雙方顯然將類似的工具運用在不同的材料與目的。數百年來的技術傳統，自然使得工匠熟習於原有的工具與材料，因爲文化與社會經濟的需求，創造出社會所需要的器械，而中西雙方的技術溝通方式也未盡相同。

繪圖規範並非不證自明，也非揮灑而就，而是經過長期歷史發展而成，繪圖師則需要接受長期訓練。藝術史家已然指出，中西繪圖語言在展現空間感、器物的形狀與質感的技巧等方面並非相同。[25]因此中西之間的技術轉移正是缺乏拉圖所強調的「不變異的移動」。由此可見，中西技術的差異展現了文化的差異，也凸顯十九世紀中國轉移西方技術之後，在文化與社會上產生劇烈變化。這個變化的開始，要從十九世紀中國人發現蒸汽機作為動力談起。

誤解蒸汽原理

中國人並非沒有熱氣上升與蒸汽的觀念，跑馬燈就是一種利用蠟燭燃燒上升的熱氣來推動燈內葉片的一種裝置。1679 年左右，耶穌會士南懷仁(Ferdinand Verbiest)為康熙皇帝製造了一具以蒸汽為動力的模型小車，以蒸汽氣流來推動齒輪。[26]但是這具蒸汽渦輪沒有汽缸與活塞，因此與近代蒸汽機的機械結構並不同。此外，李約瑟也指出，中國傳統鐵匠煽火用的風箱運作原理與活門及蒸汽機汽缸類似。[27]很可惜地，這些技術元件並沒有組合起來，創造出蒸汽機。

十八世紀末，中國失去一次學習蒸汽機的機會。1793 年，英國遣使馬戛爾尼(Lord George Macartney)到華訪問。馬戛爾尼帶有各種科學儀器，也包括一座瓦特的蒸汽機模型，不過他卻沒有將這具蒸汽模型送給乾隆皇帝或任何清廷的高級官員。[28]因此，中國人一直要到十九世紀的時候，才真正親眼目睹將

---

25 Michael Sullivan, *The Meeting of Eastern and Western Art* (London: Thames and Hudson, 1973).

26 這具小車是木製，車中有一個火爐；爐上有一個汽鍋，蒸汽從汽鍋的汽管噴出來推動齒輪而帶動小車的輪子。方豪，〈蒸汽機與火車輪船發明於中國〉，《東方雜誌》，卷 39 號 3（1943 年 3 月），頁 45-46；Joseph Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1965), vol. 4, part 2, pp. 225-227.

27 Joseph Needham, *Science and Civilisation in China* vol. 4, part 2, pp. 135-155.

28 J. L. Cranmer-Byng and Trevor H. Levere, “A Case Study in Cultural Collision: Scientific Apparatus in the Macartney Embassy to China, 1793,” *Annals of Science* 38:5 (1981), pp. 503-525; Benjamin Elman, *On Their Own Terms*, pp. 29-30; Maxine Berg, “Britain, Industry and Perceptions of China: Matthew Boulton, ‘Useful Knowledge’ and the Macartney Embassy to China, 1792-94,” *Journal of Global History* 1 (2006), pp. 269-288.

蒸汽作爲動力的蒸汽機，但是中國人對於蒸汽機相當陌生，因而產生了一些誤解。

在 1840 年代之前，絕大多數中國人見到英國蒸汽輪船的時候，誤以爲推動蒸汽輪船的乃是「火」。1828 年初，一艘蒸汽船從印度航行到廣州傳遞緊急訊息給英商。一位中國目擊者寫下他的印象，這段文字後來收進魏源的《海國圖志》之中：

> 三月初間，忽有火輪船自孟甲喇來……。火輪船者，中立銅柱，空其內燒煤，上設機關，火焰上即自運動，兩旁悉以車輪自轉以行，每一晝夜可行千里，自該處至粵，僅三十七日。據夷人云，道光初年始創造，不能裝貨，以通緊急書信而已，斯一奇也。[29]

1840 年 6 月，兩廣總督林則徐向道光皇帝報告英軍艦隊中有三艘「車輪船」，「以火焰激動機軸，駕駛較捷。」[30]另外，1840 年英軍進攻浙江定海的時候，一位當地仕紳見到英軍蒸汽船之後，留下如此的描述：

> 煙函夾輪舩兩隻，二枝桅，約長二十餘丈，寬二丈餘，內約百餘人。其煙函舩兩旁俱有車輪夾掛外面，其艙中載有方式灶爐，在於掛輪之橫木之下，用火在灶爐內焚燒，而兩旁車輪即旋轉如快磨。其舩行走，無論風之順逆，快疾如飛。[31]

換句話說，當時的中國人見到蒸汽船煙囪冒出來的煙以及轉動的輪子，誤認爲推動輪子的是火，因此他們稱蒸汽輪船爲「火輪船」。

這個名字可能來自於中國傳統的「水輪船」。水輪船是一種利用人力來踩動船內水車的技術。十九世紀的中國士大夫，很容易從文獻中得知南北朝祖沖之發明了有輪子的「千里船」，也知道南宋水師曾經利用水輪船來抵抗金兵跨

---

29 魏源編撰，《海國圖志》（上海：上海古籍出版社據北京大學圖書館藏清光緒二年(1876)魏光燾平慶涇固道署刻本影印，1997），收入《續修四庫全書》，史部，地理類，冊 744，卷 52，葉 12 下-13 上。

30 文慶等編，《籌辦夷務始末》（北平：故宮博物院據 1851 年抄本影印，1929），〈道光朝〉，卷 11，頁 18 上。

31 不著撰人，《夷匪犯境聞見錄》（東京：汲古書院據 1857 年版本影印，1984），頁 14。

越長江（圖三）。[32]因此在鴉片戰爭期間，清朝官員便利用這種傳統水輪船的技術與英國蒸汽輪船來對抗。林則徐對一種稱做「安南軋船」的水輪船非常有興趣，他建造了四艘，但沒有人能夠操作。[33]大約 1840 年夏天，龔振麟在寧波見到英軍蒸汽船之後，想出來用人力推動輪船的方法。在 1841 年的廣州，批驗所大使長慶也造了一艘水輪船（圖四）。另外，在浙江，汪仲洋見到林則徐帶給他的安南軋船的船圖之後，計畫建造水輪船。同年，英軍在攻打江蘇的時候，在吳淞江上見到清朝水師使用水輪船。[34]很可惜地，無論這些船隻如何巧妙，仍然是以人力作爲動力。

清朝官員對蒸汽機的誤解，在鴉片戰爭結束的時候仍然沒有改變，1842 年簽署《南京條約》的欽差大臣耆英，受邀到英國蒸汽船的輪機室裡參觀，他向道光皇帝描述了他親眼所見：

> 奴才所至之火輪船，長約五丈，闊半之，載大礮十二門，中設水火二筒，燔以煤炭，火熾煙升，內外有輪，機關靈便，大約按運鐘錶之法，巧借水火之力，是以不待風颿而行駛迅速，有傳為以人力、牛力轉輪者，乃係臆度之論。[35]

由此可知，即便耆英親眼看到蒸汽機的運轉，仍然無法瞭解推動蒸汽機的乃是蒸汽。也就是說，大多數的清朝人無法理解除了人力牛力之外，蒸汽能夠成爲推動機械的動力。

然而，1840 年代初的廣州與澳門顯然有人擁有蒸汽技術。1842 年，廣州行商潘士榮捐造了一艘蒸汽船，可惜我們對此艘船是如何建造、爲誰所建造等

32 有關水輪船的歷史淵源，請參見 Joseph Needham, *Science and Civilisation in China,* vol. 4, part 2, pp. 189-206; Jung-pang Lo(羅榮邦), “China’s Paddle-wheel Boats: Mechanized Craft Used in the Opium Wars and Their Historical Background”，《清華學報》，新卷 2 期 1（1960 年 5 月），頁 189-206。

33 魏源編撰，《海國圖志》，卷 79，葉 16 上。

34 魏源編撰，《海國圖志》，卷 84，葉 16 下；有關仿製西式船艦的實驗，請見 Gideon Chen (陳其田), *Lin Tse-hsü: Pioneer Promoter of the Adoption of Western Means of Maritime Defense in China* (Peking: Yenching University, 1934), pp. 32-39；林慶元，〈第一次鴉片戰爭前後我國仿造西式艦船的活動〉，《船史研究》，期 4-5 (1989)，頁 31-75。

35 文慶等編，《籌辦夷務始末》，〈道光朝〉，卷 59，葉 48 下。

細節毫無所知。由於廣州官員報告這一艘船航行不甚靈便，必須要到澳門尋找洋匠，才能造出實用的船，並需要大量資金，於是道光皇帝下令不必建造火輪船。[36]另外，根據外國傳教士的資料，耆英在大約 1845 年左右，也從澳門找了一位美國人來造一艘蒸汽船。可惜這名美國人在 1847 年死亡，因此造船工作沒有完成。[37]

清朝官員顯然在 1840 年代末期之後，不再繼續實驗蒸汽技術，原因恐怕並非清官員保守腐敗，而是他們非常瞭解擊敗清軍的武器並不是蒸汽船，而是英軍的火砲，因而將心力投注於改良火器之上。[38]但是改良火砲與製造蒸汽機所面臨的問題是相同的，英國火砲的優勢在於利用膛床來製造砲管槍管，使得射擊力道與準確度大幅超越以澆鑄生產的中國火器。[39]很顯然地，耶穌會士傳到中國的小車床，並未發展出製造槍砲的大型工具。更重要的原因是，當時在澳門與廣州的外國技術人員數量可能很少，因此西洋技術不容易在中國複製。我們從著名的鑄砲家丁拱辰(1800-1875)的例子，可以發現中國製造蒸汽機所要克服的技術問題。

從丁拱辰到徐壽與華蘅芳

丁拱辰是中國歷史紀錄中第一位瞭解蒸汽原理的人，我們對丁拱辰所知不多。他是福建晉江縣人，年輕時曾經在東南亞做生意，1840 年時居住在廣州。根據 1845 年所印行的《演礮圖說輯要》，他在廣州見到一具模型蒸汽機，瞭解其道理，找工匠用黃銅造了一台模型火車頭（圖五），長約一尺九寸（60.8

36 文慶等編，《籌辦夷務始末》，〈道光朝〉，卷 63，葉 17。

37 這件事情只見於外國傳教士的資料，清朝官方資料中並未得見。有可能耆英並未向皇帝報告他的造船計畫；也或許清廷並不重視這一件事，所以並未列入紀錄。*The Chinese Repository* XVI (1847), p. 104; Charles Gützlaff, *The Life of Taou Kwang, Late Emperor of China. With Memoirs of the Court of Peking; including a Sketch of the Principal Events in the History of the Chinese Empire during the Last Fifty Years* (London: Smith, Elder and Co., 1852), pp. 221-222.

38 請參見王爾敏，《清季兵工業的興起》（台北：中央研究院近代史研究所，1963），頁 24-26。

39 茅海建，《天朝的崩潰：鴉片戰爭再研究》（北京：生活‧讀書‧新知三聯書店，2005），頁 33-47。

公分），寬六寸（19.2 公分），可以拖動大約三十餘斤（15 公斤）重的物品。他還用同一具蒸汽機造了一艘小汽船，長四尺二寸（134 公分），寬一尺一寸（35 公分），但是「質小氣薄，不能遠行」。[40]雖然丁拱辰試驗有所成果，但他卻難以在這個基礎上發展出實用的蒸汽機。

首先，丁拱辰表示中國缺乏適當的工具，所以無法造出完整尺寸的蒸汽機。此外，由於絕大多數中國人對蒸汽機感到陌生，因此需要精確的繪圖，來幫助新技術的傳遞，可惜丁拱辰所繪製的火車頭卻有所限制。圖五雖然能夠顯示鍋爐與汽缸的位置，但並沒有顯示火爐的確切位置與形狀，也沒有展示汽缸與曲軸間如何連動，因此讀者無法瞭解火如何燒熱水缸的水，以及燃燒所產生的煙如何從煙囪冒出，也不知道汽缸活塞如何推動車軸。換言之，由於這幅圖無法精確展現各部位零件的正確位置與形狀，即便 1840 年代的中國人從《演礮圖說》的文字學得蒸汽運作的概念，但若要複製丁拱辰的經驗，則必須要自行揣測蒸汽機零件的形狀與功能，並進行實驗。因此，丁拱辰的朋友鄭復光無法單憑閱讀《演礮圖說》而瞭解蒸汽原理，而是在丁拱辰送給他一具蒸汽汽缸的模型之後，才能完全明瞭。[41]

筆者必須要強調，這裡的討論並非意指中國人毫無創造能力，而是要說明適當的視覺技術溝通工具在大規模技術傳布過程中的重要性。口傳制度之下所訓練出來的工匠誠然具有高度的獨立性與創造力，然而 1840 年代中國所面臨的西方蒸汽技術，是近代技術體系下所訓練出的大批工人與工程師，以標準化的技術語言與溝通工具，來製造機器與火砲。這也是爲何林則徐與丁拱辰的著作中都提到，中國必須要聘請外國技術人員，投入大筆資金，來訓練中國工匠學習西方的製造技術。[42]

在 1840 年代的中國，意志力並不足以讓中國人學習蒸汽技術，而是先要

40 丁拱辰，〈西洋火輪車火輪船圖說〉，《演礮圖說輯要》（出版地不詳：民國三十四年(1945)據道光 23 年至咸豐元年間(1843-1851)刊本影印，廈門大學圖書館藏），卷 4，葉 13 上-16 下。

41 鄭復光，〈火輪船圖說〉，《鏡鏡詅癡》（上海：商務印書館據 1848 年連筠簃叢書本影印，1936）。

42 林則徐，〈籌海議〉，收入《海國圖志》，卷 2，葉 6 上-下；丁拱辰，《演礮圖說輯要》，卷 4，葉 21-22。

瞭解蒸汽原理，找出恰當的視覺溝通方法來傳達技術訊息，並引進適當的工具，製造金屬機械零件；更重要的是要設立一套機制來訓練大量中國工匠，如此才能超越丁拱辰的模型火車頭，而進入近代技術。因此，雖然當時有一些人士對蒸汽機頗有興趣，例如一名廣州商人曾經向外國傳教士徵詢蒸汽機是否能運用在織布，[43]丁拱辰與鄭復光的著作也被收錄進魏源的《海國圖志》，而得以流傳，但是中國在蒸汽技術上的突破，卻要等到 1850 年代之後，中國的技術環境逐漸轉變才發生。

1850 年代之後，中國人已經有更多機會接觸到蒸汽技術的知識與實務。外國商人開始在通商口岸設立機械廠修理汽船，[44]傳教士也開始出版普及科學雜誌或書籍，介紹西洋科學知識。傳教士的出版品，包括墨海書館所刊印的期刊《遐邇貫珍》，以及傳教士醫生合信(Dr. Benjamin Hobson)從 1855 年起以《博物新編》爲標題，出版一系列有關西方科技的書籍，[45]其中即有介紹蒸汽技術的文章。

大約與此同時，曾國藩(1811-1872)等將領在太平天國內戰之中，開始使用西式船砲與太平軍戰鬥。[46]此外，英法聯軍在 1860 年佔領天津與北京，迫使朝廷逃至承德。在深切的危機感中，清廷遂接受曾國藩的建議，決意大規模引進西式船砲來裝備軍隊，這也就是歷史學家所談論的「自強運動」時期的開始。[47]

---

43 George Smith, *A Narrative of an Exploratory Visit to Each of the Consular Cities of China and to the Islands of Hong Kong and Chusan, in Behalf of the Church Missionary Society, in the Years 1844, 1845, 1846* (London: Seeley, Burnside & Seeley, 1847, second edition), pp. 109-110.

44 1850 年代上海就有 6 家外商船塢，到了 1860 年代則增至 9 家，香港也有 3 家船塢。例如上海的祥生船廠(Boyd & Co.)，到了 1860 年代已有能力製造蒸汽機，被譽爲東亞設備最完善的造船廠。參見辛元歐，《中國近代船舶工業史》（上海：上海古籍出版社，1999），頁 34-35。

45 熊月之，〈門戶洞開以後〉，《西學東漸與晚清社會》（上海：上海人民出版社，1994），頁 181-205。

46 1853 年太平軍佔領南京，開始從長江進口西式武器，而在同年曾國藩也開始從香港進口西式槍砲。曾的副手李鴻章則大量倚重西式武器，他在 1862 年組淮軍前赴上海之時，對英軍裝備印象深刻，因而組織一支洋鎗隊。到了 1863 年，整個淮軍已有 1 萬支步槍以及其他西式火砲。請參見王爾敏，《清季兵工業的興起》，頁 27-44；Kwang-ching Liu, “The Ch’ing Restoration,” in John K. Fairbank and Denis Twitchett, eds., *The Cambridge History of China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1978), vol.10, part 1, pp. 425-434.

47 賈楨等編，《籌辦夷務始末》（北平：故宮博物院據 1862 年抄本影印，1930），〈咸豐朝〉，卷 71，葉 12 上。

在這樣的背景之下，1860 年曾國藩在安慶設立內軍械所，利用手工具來製造彈藥。1861 年，他延攬對西方科技有興趣的徐壽(1818-1884)與華蘅芳(1833-1902)等人進入自己的幕府，要求他們試造蒸汽機。可惜現有資料對此事細節交代不清。根據徐壽的友人傅蘭雅(John Fryer)的回憶，徐壽當時閱讀了《博物新編》，也曾經在長江登上外國人的蒸汽船進行觀察，因而獲得蒸汽機的知識。他們在 1862 年製造了一具模型蒸汽機，其汽缸直徑有 4.3 公分（1.7 英吋）。值得注意的是，曾國藩見到了這座模型的運轉，雖然無法完全理解，但已經知道推動蒸汽機的是蒸汽。[48]

經過一年的準備之後，徐壽和華蘅芳在 1863 年建造了一艘蒸汽船，但由於鍋爐製造錯誤，因此只航行了一里就停止了。在 1865 年又完成一艘蒸汽船，後來被命名爲「黃鵠號」。根據《北華捷報》(*The North-China Herald*)的報導，黃鵠號排水量 25 噸，長 25 尺（8 公尺），蒸汽機汽缸直徑 1 尺（32 公分）、長 2 尺（64 公分），活塞軸長 14 尺（4.48 公尺），直徑 2.4 寸（7.68 公分）；鍋爐長 11 尺（3.52 公尺），直徑 2 尺 6 寸（83.2 公分），內有 49 支加熱管，每支長 8 尺（2.56 公尺），直徑 2 寸（6.4 公分）。大部份的材料出自中國本土，只有製造汽缸活塞、煙囪與鍋爐的鐵材是由外國進口。[49]歷史學家一向稱許黃鵠號爲中國第一艘手製的輪船。然而，徐壽與華蘅芳應該是找到一些有經驗的工匠，使用適當的工具，並依照一定的設計來完成蒸汽機。於此，工具的來源乃是一個問題。當時在中國除了通商口岸的外國機器廠擁有西方工具機外，清朝官員也爲了製造西式槍砲而開始進口工具機。

太平天國戰爭之中，爲了解決彈藥補給問題，1864 年李鴻章(1823-1901)的部屬英國人馬格里(Halliday Macartney)購買了一組工具機，在蘇州成立了蘇

48 曾國藩，《曾國藩日記》（長沙：岳麓書社，1987），頁 766。

49 徐壽與華蘅芳的模型蒸汽機的原料是鋅，汽缸的直徑不過 1.7 英吋。*The North-China Herald*, 5th September 1868; 29th January 1880；白廣美、楊根，〈徐壽與黃鵠號輪船〉，收入楊根編，《徐壽與中國近代化學史》（北京：科學技術文獻出版社，1986），頁 142-153；David Wright, “Careers in Western Science in Nineteenth-Century China: Xu Shou and Xu Jianjin,” *Journal of the Royal Asiatic Society* 5:1 (December 1995), pp. 49-90.

州洋砲局，並聘四到五名的外籍技術人員。[50]另外，1863 年，曾經在美國受教育的容閎(1828-1912)向曾國藩建議購買「制器之器」（也就是工具機）作爲製造機器的基礎。他向曾國藩表示：

> 中國今日欲建設機器廠，必以先立普通基礎為主。不宜專以供特別之應用。所謂立普通基礎者無他，即由此廠可造出種種分廠，更由分廠以專造各種特別之機械。簡言之，即此廠當有製造機器之機器，以立一切製造廠之基礎也。例如今有一廠，廠中有各式之車床[lathe]、錐〔drill，即鑽床〕、銼〔planer，即鉋床〕等物；由此車床、錐、銼，可造出各種根本機器；由此根本機器，即可用以製造槍炮、農具、鐘錶及其他種種有機械之物。以中國幅員如是之大，必須有多數各種之機器廠，乃克敷用；而欲立各種之機器廠，必先有一良好之總廠以為母廠，然後乃可發生多數之子廠。既有多數子廠，乃復並而為一，通力合作。[51]

或許受到徐壽等人試造第一艘蒸汽船失敗的影響，曾國藩同意容閎的建議，並給他一筆錢到美國去購買工具機。這一批工具機在 1865 年運到上海，納入由曾國藩和李鴻章奏准設立的江南機器製造總局（簡稱江南製造局），江南製造局後來成爲製造船砲最重要的製造局之一。1866 年，另一位名臣左宗棠(1812-1885)也成立了福州船政局。1868 年與 1869 年，江南製造局與福州船政局分別建造了他們的第一艘蒸汽船。在接下來的三十年中，清朝官員陸續在中國各地成立了類似的製造局。[52]

從 1840 年代的水輪船到製造局的蒸汽船，是中國發現蒸汽動力的關鍵時間。經過二十多年的摸索，中國不但發現蒸汽動力，也發現工具機的重要性，

50　這一組工具機原本屬於阿思本(Osborn)艦隊。這一支艦隊的艦艇是由清朝政府委託海關監督李國泰(H. N. Lay)在英國購買，並聘請英國海軍軍官阿思本帶領海軍水手，將船艦航行到華。但因艦隊統領權的爭議，1863 年清政府決定將艦隊解散，將船艦賣回英國。有關馬格里購買這套工具機的詳細經過，請見 Demetrius C. Boulger, *The Life of Sir Halliday Macartney* (London: John Lane & Co., 1908), pp. 125-132.

51　容閎，《西學東漸記》（鄭州：中州古籍出版社，1998），頁 135。

52　關於晚清的兵工廠，請見王爾敏，《清季兵工業的興起》；Thomas L. Kennedy, *The Arms of Kiangnan: Modernization in the Chinese Ordnance Industry, 1860-1895* (Boulder: Westview Press, 1978).

但是當時絕大多數工匠並沒有西方技術能力。清朝政府若要大量製造以蒸汽技術爲基礎的西式槍砲船艦，必須要從根本開始訓練技術人員。在晚清製造局中，最完整的訓練課程是左宗棠所設立的福州船政局，因此值得我們進一步探討。[53]

福州船政局：工具機、工人與工程師

左宗棠在太平天國內戰期間就瞭解到蒸汽船的重要性。1866 年，他與兩名法國海軍軍官——日意格(Prosper M. Giquel)與德克碑(Paul d'Aiguebelle)——簽訂五年合約，由他們進行整體規劃，並到法國購買機器設備、聘請技術人員與教師到華建立一座近代造船廠。更重要的是，他們規劃出一個完整的訓練計畫，依據法國工業教育的經驗，將西洋造船技術完整地移植到福州船政局，訓練中國近代造船工人與工程師，這是中國技術史上革命性的轉變。

福州船政局是中國 1860 年代規模最大的近代工業機構，[54]位於馬江口，佔地 47.75 公頃，其中廠房佔地 18.8 公頃，其他廠區則是學校、辦公室、人員宿舍、兵營，以及其他設施。[55]船廠的各廠房能夠製造從蒸汽機、船體到儀表的每一部份零組件。廠房分成四大部份：金屬工作廠房（捶鐵廠、拉鐵廠，鍛造大型機械鑄件）、水缸廠（含水缸鑄造廠與輪機廠）、合攏廠（蒸汽機組裝廠房）、鑄鐵廠（澆鑄金屬零組件廠房）。廠房都是由蒸汽機提供動力，裡面

[53] 福州船政局歷史請參見王信忠，〈福州船廠之沿革〉，《清華學報》，卷 8 期 1（1932 年 12 月），頁 1-57；張玉法，〈福州船廠之開創及其初期發展〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 2（1971 年 6 月），頁 177-225；林崇墉，《沈葆楨與福州船政》（台北：聯經出版事業公司，1987）；林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》（福州：福建人民出版社，1999）；Steven A. Leibo, *Transferring Technology to China: Prosper Giquel and the Self-strengthening Movement* (Berkeley: Institute of East Asian Studies, University of California, Berkeley, Center for Chinese Studies, 1985); David Pong, *Shen Pao-chen and China's Modernization in the Nineteenth Century* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994).

[54] 江南製造局廠區面積只有 29.5 公頃。David Pong, *Shen Pao-chen and China's Modernization in the Nineteenth Century,* p. 214.

[55] ADM 125/19, Prosper Giquel, Memorandum on the Foochow Arsenal, 19th Dec. 1872.

有各式各樣的工作母機，包括車床、鑽床、軋鐵機(rolling mill)等等；廠房之間由鐵路聯繫，以便運送零組件。其他較小的廠房包括有鐘錶廠（儀表製造廠）、帆纜廠等等，另外還有三座船臺，可以承載 4,000 噸排水量的船隻，進行整艘船的組裝與維修。[56]根據《北華捷報》的報導，船政局有能力建造 100 公尺（330 英尺）長、載貨量 2,500 噸的船隻。從如此規模看來，左宗棠所創建的是一座設備完善、有長期發展潛力的船廠。

福州船政局的組織也與傳統作坊有所差別。傳統宮廷作坊以分包制爲主，工匠並不在同一個廠房，甚至不在同一個地方工作。而福州船政局由政府派船政大臣總領船政，船政大臣手下有二到三名提調（經理），分工負責不同的管理事務，提調手下則有不一定數目的委員，負責不同事務，另有一位總監工管理工人。[57]技術事務方面，則由兩位洋監督負責，帶領五十名到七十名左右的技術人員管理廠房；同時，另設一位總工程師統籌造船工程。[58]每一座廠房都有一至兩位外籍技術人員領導，同時負責管理廠內製造工作與工人訓練。

船廠聘請大量的中國勞工，在建廠與造船的高峰期，船政局曾經聘有兩千到三千名工人，其中有部份是從上海與寧波招聘而來，他們有操作西洋工具機的經驗。廠房興建完成之後，常態的造船工人仍有一千多名。[59]工人都安置在宿舍中住宿，以軍事紀律集中管理，船政局並在船廠中豎立了一座大鐘來規範工人的作息。[60]

56 中央研究院近代史研究所編（以下略），《海防檔》（台北：中央研究院近代史研究所，1957），〈乙・福州船廠〉，頁 263；Prosper Giquel, *The Foochow Arsenal and Its Results, from the Commencement in 1867 to the End of the Foreign Directorate, on the 16th of February, 1874*, trans. H. Lang (Shanghai: Shanghai Evening Courier, 1874), pp. 10-11.

57 福州船政的管理組織分成：文案處、支應處、稽查處、考工所等部門。文案處處理文書事務，支應處管理財務出納，稽查處則管理掌管製造品質，而考工所則管理工人技能。《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 134。

58 Prosper Giquel, *The Foochow Arsenal and Its Results,* p. 11.

59 Prosper Giquel, *The Foochow Arsenal and Its Results*, p. 14.

60 林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》，頁 87。工廠大鐘是工廠制度的特徵，工廠以大自鳴鐘爲準，規範工人上下班與生活作息。有關工廠制度的討論，請見 E. P. Thompson, “Time, Work-Discipline, and Industrial Capitalism,” *Past and Present* 38 (1967), pp. 56-97.

當各式機器從 1867 年由法國運抵馬尾廠址起，外籍技術人員就開始訓練工人操作工具機、模具製作以及金屬熔煉。同年，福州船政局成立學徒學校（藝圃），來訓練十五到十八歲的學徒。課程包括了法文、基礎科學、數學與機械工程知識。同時，外籍技術人員也開始訓練工人閱讀工業製圖。1868 年成立「繪事院」（也稱做畫館），由外籍繪圖人員訓練學生製圖，並爲船廠繪製船圖與機械圖。[61]

福州船政局藉由造船實作來訓練造船工人，造船工程依近代工業的製造程序進行。1869 年，福州將軍文煜的奏章對此有清楚的描述：

> 先在全座輪機分件按量尺寸縮畫圖示，一在模廠按畫圖之大小刻木以肖其形，一在打鐵、鑄鐵各廠仿照模樣打鑄成器，一在輪機廠將打鑄器件刮磨合攏，一在水缸廠打造大小各節銅管鑲配聯合。是併數廠之功，方能共成一器，作法雖極靈巧，卻皆有次第可循。[62]

也就是說，蒸汽機製造的過程從繪製船圖與機械零件的圖開始，然後由模具廠依圖製造模具，再把模具送到打鐵廠製作機械零件、打磨，而後送到合攏廠組裝，完畢後送至鍋爐廠配置各式銅管，最後送到船臺上，安裝上船體。其製造過程，與前述中國傳統工匠個人具有許多技藝並以模型作爲溝通工具的方式完全不同，複雜度亦有差別。

1870 年底之前，福州船政局已經完成四艘配備了進口蒸汽機的汽船。1871 年，開始以仿製的方式製造蒸汽機與其鍋爐。在 1874 年外籍技術人員的合約終止之前，福州船政局一共建造了 14 艘汽船，其中有 1 艘 250 匹馬力、8 艘 150 匹馬力，以及 5 艘 80 匹馬力的船隻。這些都不是大型的船隻，長度大約在 60 到 70 公尺長，排水量不超過 1,500 噸。

然而，這段期間福州船政局仍然需要從外國購買船圖來進行仿造，當時船政局尚未具備設計船隻與輪機的能力，要達到技術獨立，需要合格的造船工程

---

61 繪事院的繪圖課程分成兩班，一班是船圖，另一班是機械製圖。《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 114-115。

62 《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 304。

師。工程師的養成教育不但需要時間，也非常講求專業化，但是當時中國的教育環境既沒有近代基礎教育學科，也沒有專業機械工程訓練，因此船政局必須要從頭開始。也就是說，船政局要將原本接受傳統科舉基礎教育的學生，帶進近代蒸汽技術的知識體系。[63]

1866 年底，船政局成立船政學堂並開始招生。船政學堂分爲「前學堂」與「後學堂」，前學堂訓練輪機與造船，後學堂則訓練航海技術。由於本文以蒸汽技術爲重點，因此只討論造船訓練課程。前學堂分成「造船」、「製圖」（繪事院）以及「學徒」（藝圃）三個部門。當時沒有中文的科技教科書，學生必須要從法文學起，課程內容包含算數、幾何、物理、繪圖與微積分。法籍監督日意格在 1872 年給船政大臣沈葆楨(1820-1879)的一份報告中，對於學堂教導這些學科的目的有清楚的解釋：

> 這個學校的目標是讓學生有能力在計算與理性的幫助下，解釋蒸汽機各部份組件的功能、尺寸，而且能夠設計並製造蒸汽機的各組件；對於船體來說，〔讓學生能夠〕計算、設計以及在放樣間[molding hall]裡描繪一艘大致類似本兵工廠〔指福州船政局〕所應製造的木殼船。……因此，為了要計算一具機械或一艘船體的尺寸，〔學生〕必須要瞭解算術與幾何；為了要根據圖紙進行製造，〔學生〕有必要瞭解透視科學，也就是畫法幾何學[descriptive geometry]；為了要解釋重力、熱以及其他自然現象對蒸汽機、船殼乃至於整艘船所施予的壓力，〔學生〕必須要瞭解物理法則。接下來，對於船體運動所承受的衝擊力，以及船體必須要克服的阻力與承受的張力，這就是靜力與動力的科學；而為了進行這些計算，普通的算術與幾何將不敷使用，〔學生〕必須要擁有三角學[trigonometry]、解析幾何[analytical geometry]與微分[infinitesimal calculus]的知識。因為〔這些計算〕不再是決定物件〔船

63　1866 年底，船政局在福州舉行船政學堂的入學考試，有些報考的廣東學生已有英文能力，但考試題目仍以儒家思想爲主。當年第一名考入駕駛學堂的嚴復，回憶當年的考題是「大孝終身慕父母」。林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》，頁 120-122。

> 體與機械零組件〕的形狀與尺寸而已，而是要〔讓學生〕能夠組成通用的方程式，運用在造船的所有細節上面。[64]

換言之，設計一艘蒸汽船與蒸汽機需要非常充足的專業知識。除了研習理論學科之外，學生也被分派到各廠房接受實務訓練，以熟悉廠房的運作。簡言之，造船學堂的課程其實是結合了機械製圖、造船理論與實務操作。[65]

福州船政學堂是中國第一座近代工業學校，其專業化程度遠超過於其他晚清文教機構，如 1861 年在北京成立的同文館，1863 年在上海設立的廣方言館，以及 1868 年在江南製造局內成立的翻譯館等。[66]1869 年時同文館增加數學與天文部門，課程包括理論與實務機械、微積分、地理、礦物學、國際法與政治經濟。[67]同年，廣方言館納入江南製造局中，教學科目包括了基礎數學與物理。[68]儘管如此，這幾間學校主要都是訓練外交與翻譯人才的學校，數學與科技科目僅屬於基礎教育。[69]因此，在 1890 年代之前，福州船政學堂也是中國唯一的近代工業學校。[70]

然而，即便福州船政學堂擁有完整的訓練課程，但是中國並沒有完整的技術環境，以培育造船學生成爲合格的工程師，所以船政局便遴選部份學生到法國受訓，[71]同時也嘗試在五年合約的成果上更上層樓。西方造船技術在十九世

---

64 Prosper Giquel, *The Foochow Arsenal and Its Results*, p. 18.

65 Prosper Giquel, *The Foochow Arsenal and Its Results*, p. 18.

66 同文館是由恭親王將原有隸屬內閣的俄羅斯館擴大而成。俄羅斯館成立於 1757 年，目的在訓練俄文的翻譯人才。

67 詳見 Knight Biggerstaff, *The Earliest Modern Government Schools in China* (Ithaca: Cornell University Press, 1961), pp. 127-128.

68 熊月之，〈廣方言館：上海風格〉，《西學東漸與晚清社會》，頁 334-349。

69 在此並未將江南製造局所屬的翻譯局納入討論，因爲翻譯局爲一所翻譯書籍的機構，並非訓練專業人才的學校。

70 中國科學院近代史研究所史料編輯室、中央檔案館明清檔案部編輯組編（以下略），《洋務運動》（上海：上海人民出版社，1961），冊 6，頁 18。江南製造局聘用了傅蘭雅(John Fryer)與偉烈亞力(Alexander Wylie)、瑪高溫(D. J. Macgowan)，在徐壽與華蘅芳的協助下譯書。翻譯局所出版的書的主題包括：西方政治體系、軍事、鐵路、航海、數學、礦冶、火藥以及蒸汽機。然而翻譯局本身並非學校，書籍的選譯是以普及西洋基礎知識爲目的。熊月之，〈江南製造局翻譯館：譯書中心〉，《西學東漸與晚清社會》，頁 493-550。

71 Knight Biggerstaff, *The Earliest Modern Government Schools in China*, pp. 233-235.

紀發展快速，從 1850 年代開始，鐵材正逐漸取代木材成爲造船的主要材料，鐵材不但可以降低船體的重量，增加船體強度及貨艙容量，更可以降低火災的風險。[72]此外，在十九世紀中期以後，由於管式鍋爐(tubular boiler)技術的進步，能夠產生的蒸汽壓力越來越高，工程師發展出複式蒸汽機(compound engine)來有效率地利用高壓蒸汽。這種設計能夠讓高壓蒸汽在進入汽缸、推動活塞之後，再導入另一個汽缸、再推動一次活塞。也就是說，同樣燃料產生的同樣容積的蒸汽可以二次使用。這樣的蒸汽機在 1860 年代之後，很快即爲西方造船工業所採用。到了 1870 年代之後，西方造船工業發展出三汽缸甚至四汽缸的船用蒸汽機，大幅增加蒸汽機效率。[73]

外籍技術人員在 1874 年初合約期滿之後，並未續聘，除了少部份的工程師與教師之外，大部份都被遣返歐洲。但是福州船政局仍然繼續引進新造船技術，在 1875 年從英國進口了一組鐵脅（鐵結構船體）與 750 匹馬力複式蒸汽機，並從英國與法國聘請七名技術人員教導船廠工人進行仿製。[74]在 1880 年以前，福州船廠造出了四艘配備 750 匹馬力複式蒸汽機的木殼鐵脅船。

1880 年之後，出國受訓的造船學生陸續回到福州，也將更先進的蒸汽與鋼鐵技術帶回到福州船政局。1883 年，留歐學生完成一艘鐵木複合構巡洋艦，其規格是 76 公尺長，排水量 2,200 噸，動力是 2,400 匹馬力三次膨脹複式蒸汽機(triple expansion compound engine)，八座鍋爐可產生每平方英吋 68 磅的蒸汽，但是百分之六十到七十的零組件（尤其是鋼材）卻是進口的。[75]在當時，

---

72 木材在造船長度上無法超過 91 公尺（300 英尺）。木材船體在波浪中受中拱(hogging)與中垂(sagging)現象的影響較大，影響螺旋槳推進器的傳動軸，而螺旋槳本身所產生的力量，也對船尾產生很大的壓力，以致產生漏水的情形。此外，蒸汽機鍋爐的燃煤增加船體火災的危險，鐵材則大部份解決了這些問題。A. M. Robb, “Ship-building,” in Charles Singer et al., eds., *A History of Technology vol.5 The Late Nineteenth Century c1850-c1900* (Oxford: Oxford University Press, 1958), pp. 350-390.

73 早期鍋爐的設計很簡單，只是一個長形的水缸。1840 年代以後，工程師爲了增加燃煤的效率，發展出管式鍋爐，也就是將火爐燒煤產生的熱氣，導引進一組穿過水缸的熱氣管快速將水加熱。1840 年代的鍋爐能產生每平方英吋 10 到 15 磅的壓力(psi)，而到 1860 年代則增加到 60 磅。

74 《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 691、697、701、770-771。

75 《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 936-937；《洋務運動》，冊 5，頁 295。

這一艘巡洋艦是中國自造船隻中前所未有的先進船艦，因而引起清官員的注意。[76]時任兩江總督的左宗棠就增訂造了兩艘，一起納入南洋艦隊中服役。[77]

然而，當時的西方造艦技術已然進入全鋼結構的時代，120 公尺長、9,000 噸、8,000 匹馬力的戰艦相當常見。[78]福州船政局的造船技術可說仍然遠遠落後西方。1884 年中法戰爭之後，福州船政局不但將左宗棠所訂造的兩艘巡洋艦完成，並在 1888 年根據法國設計完成了一艘全鋼結構巡洋艦。[79]其船身長為 65.5 公尺（215 英尺）、排水量 2,100 噸，裝載有兩具 1,200 匹馬力蒸汽機。船身吃水線以上有 20 公分厚的帶狀裝甲，砲塔裝甲達 35.6 公分厚。[80]李鴻章將之命名為「平遠」，並納入北洋艦隊中服役。在平遠之後，福州船政局又為兩廣總督張之洞完成了一艘鐵木合構船，以及二艘全鋼船體船艦。

從 80 匹馬力木殼砲艇到全鋼船體結構 2,400 匹馬力的鋼甲巡洋艦，福州船政局在這三十年內的技術進展令人矚目。然而船政局的造船數量在 1880 年代後期開始減少，從 1889 到 1894 年之間並沒有建造新船，廠房擴建與機器設備的提升都受到限制。造成技術進展減緩的原因並非清政府保守腐敗，而是財政制度無法應付不斷增加的費用，以及軍事技術發展政策的轉變。

進口或是自造？福州船政局的財務困境

清朝財政體系在康熙朝的時候就已經大致成形。中央政府支出預算的項目與數額是固定的，當收支不平衡之際，政府不會調整預算，但會增加臨時稅的項目或額度來支應。倘若支出增加（比如戰爭或是重大天災），則由各省分攤

---

76 《洋務運動》，冊 5，頁 266-268。

77 巡洋艦的建造計畫得到左宗棠的資助。1881 年，他同意支付一半的經費，造船工作才能進行。左宗棠，《左文襄公全集》（台北：文海出版社，1979），〈奏摺〉，卷 59，葉 52 上下；《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 938。

78 Robert Gardiner, ed., *Steam, Steel and Shellfire: The Steam Warship, 1815-1905* (Edison: Conway Maritime Press, 1992), pp. 111, 176.

79 《洋務運動》，冊 5，頁 311。

80 FO228/876, Report on the Foreign Trade of the Port of Foochow for the Year 1888, 9th March 1889.

這些額外的開銷。就稅收來說，富庶的江南則是收入最重要的地區；但是 1850 年之後，太平天國戰役所產生的龐大軍費與江南地區經濟破壞，使得財政大受影響。另外，當太平天國摧毀八旗與綠營的作戰能力之後，地方人士所組織的地方團練應運而起，例如湘軍與淮軍即是其中的佼佼者。由於國庫空虛，地方團練的軍餉都是由地方官開徵臨時稅來籌措，釐金就是最重要的一項。[81]隨著軍事與徵稅逐漸落在督撫手中，因而督撫對於稅收的支配能力逐漸增加。[82]中央與地方政治權力平衡的微妙改變，遂對福州船政局的發展產生重大的影響。

福州船政局是 1860 年代自強政策的產物，當時清廷願意挹注大筆資金，以取得製造船砲的技術。以船政局爲例，左宗棠一開始就規劃了一年 60 萬兩銀的預算，由福建海關收入的六成項下支出。[83]從 1866 年船廠興建開始，船政局一直可固定收到每月 5 萬兩銀的收入。[84]

然而在 1866 年，掌管閩海關收入的福建當局就已感到入不敷出。福州將軍英桂向朝廷上奏，表示當年閩海關收入大約兩百萬兩，其中的六成 120 萬兩尚且不足 24 萬兩，以支付朝廷交付福建當局應該分擔的 144 萬兩政府支出，因而無法完全支付閩海關所分擔的政府支出，加上福建釐金收入又要支付當地軍費與左宗棠西征軍餉，因此建議由四成洋稅分擔船政局費用。[85]朝廷准許了英桂的建議，因此造船工程並未受到經費上的限制。[86]然而到了 1874 年台灣

81 關於釐金的討論，請見羅玉東，《中國釐金史》（上海：商務印書館，1936）。

82 有關晚清財稅的討論，請參考何烈，《清咸、同時期的財政》（台北：國立編譯館中華叢書編審委員會，1981）；周志初，《晚清財政經濟研究》（濟南：齊魯書社，2002）。

83 左宗棠規劃 43 萬兩銀，來支付廠房興建與設備購置預算，其中 40 萬由福建省四成洋稅中支出，不足的部份則是由福建釐金收入來支出。《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 6。

84 1872 年內閣學士宋晉上奏，批評福州船政的小馬力木殼船難以抵禦外侮，但福州船政局的花費已然超出當年的預算，因而主張停止造船。總理衙門、曾國藩、李鴻章與船政大臣沈葆楨皆爲福州船政辯護。張玉法，〈福州船廠之開創及其初期發展〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 2，頁 201-205；林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》，頁 155-157。

85 《洋務運動》，冊 5，頁 21。

86 船政局在養船經費上曾經遇到困難，原因是左宗棠當初規劃預算之時，計畫將船隻撥交沿海各省使用。但是船隻造成之後，各省接收的意願卻不高，因此福州船政必須自行吸收養船成本。船隻造成越多，成本就越高。經過總理衙門與沿海督撫討論之後，各省接收一兩艘船，而朝廷則從福建的洋藥（鴉片）稅中撥出經費，來支付船政局的養船支出。張玉法，〈福州船廠之開創及其初期發展〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 2，頁 211-214；David Pong, “Keeping

牡丹社事件之後，清政府的軍事發展政策開始出現轉變。

1874 年，日軍因台灣牡丹社原住民殺害琉球船難人員而出兵南台灣。由於清官員發現日本海軍中有兩艘鐵甲艦，主張避免與日本發生全面性的軍事衝突，因而雙方協議，由清政府以支付軍費的方式換取日本撤兵，也默認琉球爲日本屬國。[87]雙方達成協議之後，清朝官員討論如何加強海防，雖然仍支持江南製造局與福州船政局繼續製造船艦，但也強烈主張向國外購買鐵甲艦，組成南北洋艦隊，並由海關與釐金收入集資成海防經費。[88]

海防經費的成立，讓閩海關更爲捉襟見肘。到了 1875 年 2 月之前，福建當局欠解船政局的經費已經累積到了 40 萬兩。原因是當年的閩海關收入只有 236 萬兩，六成只有大約 140 萬兩。而在付給船政局 60 萬兩之前，福建當局必須要支付朝廷視爲當務之急的六項支出，其中包括了左宗棠西征軍費與中央政府支出。這些支出已經高達 116 萬兩，剩下的 24 萬兩連支付欠解船政局的 40 萬兩都不夠，但是福建當局卻還有其他協餉尚待支付，因此總共不足 62 萬兩。[89]這個數字比 1866 年的 24 萬兩要嚴重得多，清政府所研討出的辦法，就是將船政局的預算移到海防經費項下。1875 年 12 月，朝廷同意每月由閩海關四成洋稅中支付 2 萬兩給船政局，另外的 3 萬兩則由六成洋稅中支付。[90]然而，由於閩海關六成洋稅所要負擔的政府支出實在太多，因此四成洋稅的 2 萬兩成

---

the Foochow Navy Yard Afloat: Government Finance and China's Early Modern Defence Industry, 1866-1875," *Modern Asian Studies* 21 (1987), pp. 121-152.

87 陳在正，〈牡丹社事件所引起之中日交涉及其善後〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 22（1993 年 6 月），下冊，頁 29-59；Leonard Gordon, "Japan's Abortive Colonial Venture in Taiwan, 1874," *The Journal of Modern History* 32:2 (June 1965), pp. 171-185; Immanuel C. Y. Hsu, "Late Ch'ing Foreign Relations, 1866-1905," in Denis Twitchett and John K. Fairbank, eds., *The Cambridge History of China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1980), vol.11, pp. 85-88.

88 《洋務運動》，冊 1，頁 48、57、63、67、72-73、78-79、84、89、97、109；Immanuel C. Y. Hsu, "The Great Policy Debate in China, 1874: Maritime Defense V.S. Frontier Defense," *Harvard Journal of Asiatic Studies* 25 (1964-1965), pp. 212-228. 關於晚清艦隊的建立，請見王家儉，《李鴻章與北洋艦隊：近代中國創建海軍的失敗與教訓》（台北：國立編譯館，2000）；姜鳴，《龍旗飄揚的艦隊：中國近代海軍興衰史》（北京：生活・讀書・新知三聯書店，2002）。

89 《洋務運動》，冊 5，頁 167。

90 《海防檔》，〈乙・福州船廠〉，頁 644。

爲船政局較爲穩定的收入。雖然如此，從 1874 年 8 月起，到 1880 年 1 月止，船政局的月平均收入只有 3 萬 7 千兩。[91]

這樣的收入，使得船政局發展技術的能力受到限制。從 1877 年開始，船政局計畫興建巡洋艦，預計需要 40 萬兩的經費，現有的收入顯然無法支付這筆預算。[92]因此福州船政局轉而尋求兩江總督沈葆楨與直隸總督李鴻章的支持，但沈、李二人卻沒有採取實際行動。李鴻章向來對中國本土自造的船艦缺乏信心，並建議向國外購買。[93]另外，沈葆楨雖然在船政大臣任內爲船政局盡心盡力，但是在擔任兩江總督任內，卻不同意利用兩江的海防經費來協助船政局。[94]

李、沈二人沒有全力支持船政局的理由很充分。日本從 1870 年開始，即著手建立近代海軍，1874 年之前向國外購買了兩艘 1860 年代所建造的鐵甲船，接下來也不停地購買軍艦，並在 1879 年雇用英國海軍軍官，來訓練日本海軍軍官與船員。[95]清官員很清楚福州的船艦並無法與鐵甲艦抗衡。從牡丹社事件之後，沈葆楨就透過海關監督赫德(Robert Hart)向英國購買蚊子船，因爲這種船造價低、吃水淺，船上裝置的一座大口徑火砲，可以擊破鐵甲艦的鐵甲；[96]李鴻章也向英國的造船廠訂製了兩艘穹甲艦。[97]

唯一給予福州船政局政治支持的重量級官員只有左宗棠。1881 年左宗棠被任命爲兩江總督之後，同意支付給船政局巡洋艦計畫的一半經費。[98]但是 1884 年中法戰爭爆發，法國海軍先進的鐵甲艦與火砲輕易地摧毀船政局在

[91] 由船政大臣的奏章計算而得。《洋務運動》，冊 5，頁 223-233、256-263。
[92] 《洋務運動》，冊 5，頁 242。
[93] 李鴻章，《李文忠公全集》（台北：文海出版社，1962），冊 5，〈朋僚函稿〉，卷 12，葉 3 下。不過他卻支持船政局的訓練計畫，因爲北洋艦隊需要海軍人才，此外他也希望透過船政局的出洋學生，得到最新的外國軍事科技，參見同書，冊 2，〈奏稿〉，卷 39，葉 30 上-31 下。
[94] 《洋務運動》，冊 5，頁 216。
[95] 日本海軍建軍史，請見 David Evans and Mark Peattie, *Kaigun: Strategy, Tactics, and Technology in the Imperial Japanese Navy, 1887-1941* (Annapolis: Naval Institute Press, 1997).
[96] John Rawlinson, *China's Struggle for Naval Development*, pp. 69-71.
[97] 所謂穹甲艦是指 protected cruiser，也就是船體輪機室的部份有裝甲保護。
[98] 《洋務運動》，冊 5，頁 265-266。

1860 與 1870 年代所建造的木殼艦艇，也讓船政局的發展日益艱難。清廷感到取得先進戰艦迫在眉睫，於是決定成立海軍衙門來統籌建立海軍事宜。李鴻章向德國購買了兩艘鐵甲艦、一艘穹甲艦，又向英國訂製了兩艘穹甲艦。在此同時，日本也向英國與法國購買軍艦。由於向西方造船廠購買的軍艦較爲先進，造價也較低，在軍備競賽的壓力下，清朝官員自然會選擇向國外購買軍艦。然而，購艦費用需要由各省的海關跟釐金收入來分攤，這正好與船政局收入的來源產生衝突。福建官員在面臨太多政府支出的狀況下，也意識到朝廷海軍政策的改變，於是傾向先支付其他的政府支出，而減少了對船政局的支持。1880 年到 1890 年間，船政局總計只從閩海關收到 345 萬兩，欠解 338 萬兩，等於只收到一半的預算。[99]

1885 年，船政局在左宗棠的支持之下，獲得朝廷允許建造三艘鐵甲艦以及每艘 40 萬兩的經費，但卻遭到李鴻章的反對。不久，左宗棠逝世，在失去政治支持的處境之下，船政局只能建造一艘鐵甲艦，也只得到閩海關撥給 46 萬兩的經費。[100]左宗棠逝世之後，只有兩廣總督張之洞對船政局所造的船有興趣。他向船政局訂購了八艘船，並允諾支付一半的建造費用。但是 1889 年他被調任湖廣總督，繼任的李瀚章終止了與船政局的合作。在缺乏經費的狀況下，造船計畫進行非常緩慢，到 1909 年就無法再造船了。[101]

資本與技術發展

福州船政局技術進展因財政困難而受阻的例子，告訴我們充裕的資本對技術發展是不可或缺的。即使清政府持續維持原有對製造局的支持，但是大規模的技術進展仍需賴資本市場提供資本，讓商人進行工業投資，中國並不見得缺乏資本，但是缺乏聚集資本的制度。西方自從十八世紀以來，銀行與有限股份

99 根據船政大臣的奏章計算而得。《洋務運動》，冊 5，頁 374-282、401-403、413-414。

100 《洋務運動》，冊 5，頁 311-313、412-416。

101 林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》，頁 384-385。

公司成爲聚集資本的利器，在工業發展的過程中扮演重要的角色。[102]相對來說，中國並沒有公司法，傳統上中國人利用禮儀的規範，以宗族或是合夥的方式來聚集資本，在土地開發、手工業、商業與票號錢莊上進行投資。[103]而外商爲了要集資投資資本密集的近代工業，從 1860 年代開始，就利用通商口岸治外法權，依據外國商業法來註冊公司、發行股票，以及聚集資本。這些外商公司中有相當大的股份乃是華人資本，[104]很顯然地，華商也瞭解公司制度在聚集資本上的能力，因此在 1872 年，一組華商獲得李鴻章的支持，在「官督商辦」的框架之下，以合股公司的方式組成了「輪船招商局」，招商局是華人第一個以股份公司的方式組成的機構。[105]然而，在沒有公司法的晚清社會，以公司的模式來興辦企業，需要大官員的保護與支持，李鴻章就是其中最爲活躍者，招商局的成立就是他建立工商王國的開始。他接下來在 1877 年支持華商成立了開平煤礦，也在 1878 年支持籌建上海織布局。李鴻章等清官員一方面支持他們旗下的商人籌組公司進行工業投資，一方面也強烈保護自己的利益。例如，李鴻章本人就否決了其他中外商人籌組織布工廠的企圖。[106]也就是說，缺乏商

[102] François Crouzet, ed., *Capital Formation in the Industrial Revolution* (London: Methuen, 1972); Rondo Cameron, ed., *Banking in the Early Stages of Industrialization: A Study in Comparative Economic History* (New York: Oxford University Press, 1967).

[103] 關於中國人如何利用禮儀的力量來聚集資本，請見 David Faure, *Emperor and Ancestor: State and Lineage in South China* (Stanford: Stanford University Press, 2007).

[104] 參見 Kwang-ching Liu, "Steamship Enterprise in Nineteenth-Century China," *Journal of Asian Studies* 18 (August 1959), pp. 435-455；關於華商附股外商公司的討論，請見汪敬虞，〈十九世紀外國侵華企業中的華商附股活動〉，收入黃逸平編，《中國近代經濟史論文選》（上海：上海人民出版社 1985），頁 193-257。

[105] 招商局的歷史請見 Albert Feuerwerker, *China's Early Industrialization: Sheng Hsuan-huai (1844-1916) and Mandarin Enterprise* (Cambridge: Harvard University Press, 1958)；劉廣京，〈從輪船招商局早期歷史看官督商辦的兩個型態〉，原收入張寄謙編，《素馨集：紀念劭循正先生學術論文集》（北京：北京大學出版社，1993），重印於招商局史研究會編，《招商局與近代中國研究》（北京：中國社會科學出版社，2005），頁 226-258；黎志剛，〈輪船招商局經營管理問題〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 19（1990 年 6 月），頁 67-108。

[106] 在官督商辦體制下，官員對企業雖進行保護，但也造成管理的困擾。請參見 Wellington K. K. Chan, *Merchants, Mandarins, and Modern Enterprise in Late Ch'ing China* (Cambridge: East Asian Research Center, Harvard University Press, 1977). 有關李鴻章阻止其他商人籌組織布公司，參見陳慈玉，〈上海機器織布局——設立背景、經營方針及其他有關問題的檢討〉，收入中央研究院近代史研究所編，《清季自強運動研討會論文集》（台北：中央研究院近代史研究所，1988），

業法的環境，並不利於大規模工業投資。

此外，成本問題也讓中外商人對投資蒸汽技術有所顧忌。相對於中國低廉的勞工，資本密集的先進機器並不一定能獲利，英商怡和洋行(Jardine, Matheson & Company)的一座工廠就是很好的例子。怡和洋行於 1867 年在牛莊建立了一座榨油工廠，他們期望利用一組英國製造的先進榨油機器，來大規模生產豆油與豆餅，獲取利潤。[107]1868 年榨油廠開始生產，但是機器卻因爲設計問題，榨油效率不高。[108]而且，由於滿洲的冬季太過寒冷，工廠必須要停止生產；[109]另外，1869 年榨油工人就罷工兩次。儘管這些技術與管理上的問題後來都得到改善，[110]但是當時正逢怡和洋行的本業進出口貿易虧損連連，牛莊工廠昂貴的資本壓力與虧損，遂讓怡和洋行更感難以承受。[111]怡和洋行當初投入的機器與廠房資本就已經達到 99,158 銀元（機器 26,209 銀元，廠房 72,949 銀元），不計算固定資本還有利息，牛莊榨油廠第一年(1868)的現金流量就虧損了 52,238 銀元，第二年雖然轉虧爲盈，但也只有 11,415 銀元的獲利。以這樣的獲利水準，當初投入的資本以及第一年的虧損，估計需要十年以上的時間才能回收。因此 1870 年 1 月怡和洋行就開始尋找買主，[112]並在 2 月斷然決定

下冊，頁 740。

107 Shannon R. Brown, "Cakes and Oil: Technology Transfer and Chinese Soybean Processing," *Comparative Studies in Society and History* 23:3 (July 1981), pp. 449-463. 傳統技術是用獸力拉動石磨來碾碎黃豆，然後蒸熟碾碎之後的黃豆，再將黃豆包成圓形，放在榨油器之下，以大木的重量來榨油。然而怡和洋行從英國 Rose Downs, and Thompson 所訂購的機器，乃是用蒸汽機的力量來磨豆榨油。DBR/2116, Kite to Pichon, 1st July 1889。

108 原有的設計是將六個豆餅放在一個榨油圓筒中，由蒸汽機推動液壓器來榨油。但圓筒只有上下兩個出口，榨出來的油反而積在圓筒中間無法流出。牛莊榨油廠只好將榨油速度減慢，並將豆餅減少成五個，如此才解決問題。*Reports on the Trade at the Ports in China Opened by Treaty to Foreign Trade for the Year of 1868* (Shanghai: Imperial Maritime Customs Press, 1869), pp. 6-7.

109 Jardine Matheson Archive (JMA), B7/30, Charles Hill to F.B. Johnson, 6th September 1869.

110 1869 年 3 月，榨油廠在當地聘請的榨油工人罷工，榨油廠經理向怡和洋行報告說，工人受到當地傳統榨油業者的影響，意圖要阻止榨油廠的運作。他從山東煙台另聘了一批工人，但在 8 月，這些煙台工人卻因爲不願意改變工作方式而罷工，經理只好又從煙台跟廣東汕頭聘了兩組工人，輪班工作，方才解決問題。JMA B7/30, Charles Hill to F.B. Johnson, 3rd March 1869; 17th May 1869; 8th August 1869; 17th June 1870.

111 JMA B2/23, F.B. Johnson to William Keswick, 20th January 1870.

112 JMA B2/23, F.B. Johnson to William Keswick, 8th February 1870.

關廠，以停止虧損。[113]然而，關廠十七年之後，才有一位英國買家將榨油廠的設備買下。換言之，規模太大、資本負擔沉重，是牛莊榨油廠無法經營的主因。這個例子說明了爲何晚清使用蒸汽技術的企業規模都不大，事實上，晚清絕大多數工廠都不超越牛莊榨油廠的規模。就現有資料來看，1894 年前有紀錄可查的華資工廠 93 家之中，只有 6 家超越 100 萬銀元的資本，87 家都在 50 萬銀元之下。[114]外資工廠方面，1895 年之前資本額超越 100 萬元的只有 16 家，50 萬到 100 萬的有 8 家，而 10 萬到 50 萬的則有 41 家。[115]

聚集資本的困難，在另一項資本密集的鐵路事業更是顯著。1863 年怡和洋行與一群洋商向當時的江蘇巡撫李鴻章請願，希望清政府准許他們興建上海到蘇州的鐵路，但卻遭到拒絕。1872 年，怡和洋行的合夥人與一些上海洋商成立了吳淞路公司(Woosung Road Company)，向上海道台申請興建一條上海到吳淞（位於吳淞江口）之間的馬路。但在 1876 年初，怡和洋行卻興建一條輕軌鐵路，引發上海道台的強烈抗議。在中英官員反覆爭論這條鐵路的合法性之際，英國駐上海領事向該國在上海的最高法院首席法官徵詢意見。首席法官認爲，由於中英條約允許外商可以在口岸租借地上興建教堂、醫院與公墓，鐵路並不在允許之內。[116]然而，試車中的火車撞死了一名中國人，英方因此軟化態度，接受李鴻章的提議，讓怡和洋行將鐵路在 1876 年賣給清政府。但在次年，兩江總督沈葆楨卻將鐵路拆除，並將器材運往台灣。[117]沈葆楨向駐英公使郭嵩

[113] 在 1870 年 6 月的時候，怡和洋行評估榨油廠一個月就要損失 2,341 兩銀，這還未計算當初投資的機器廠房資本在內，因而決定關廠。JMA A8/112/5, Memo showing actual lost, 文件的時間可能在 1870 年 6 月。

[114] 張玉法，〈清末民初的民營工業〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 18（1989 年 6 月），頁 334。

[115] 張玉法，〈清末民初的外資工業〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 16（1987 年 6 月），頁 144。

[116] FO 228/577, Hornby to Medhurst, 15th April 1876. 首席法官 Hornby 的意見是根據《天津條約》第十條。詳細條文請見 *Treaties, Conventions, etc., Between China and Foreign States* (Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1908), vol. 1, p. 216.

[117] 有關吳淞鐵路的討論，請見李國祁，《中國早期的鐵路經營》（台北：中央研究院近代史研究所，1961），頁 37-45；Blair C. Currie, “The Woosung Railroad (1872-1877),” *Papers on China* 20 (1966), pp. 49-83; David Pong, “Confucian Patriotism and the Destruction of the Woosung Railway,

肅說明他的決定：

> 銕路，弟所極願辦者，無如吳淞非其地也。起卸貨物，則偷漏之端，防不勝防。恪守關章，則經費無所出，化無用為有用，以台防為椎輪，將來必西北之大利也。[118]

「偷漏」一詞乃是指逃漏關稅。由於吳淞江淤積，大型船隻無法進入到上海，貨物進出口必須在海口轉由小型船隻進出上海。而吳淞鐵路的終點卻位於滬海關管轄範圍之外，身爲兩江總督的沈葆楨可能擔心上海進出口的貨物，會直接由吳淞鐵路在吳淞起卸，藉以規避海關關稅。在此同時，福建巡撫丁日昌已經向朝廷提議意欲在台灣興建鐵路，因此沈葆楨希望鐵路能夠在台灣重建。但是鐵路器材運到台灣之後，卻因爲沒有經費而作罷。[119]

1880 年，李鴻章則在開平煤礦之內興建了一條短鐵路，並試行蒸汽火車頭。也就是說，清朝官員對興建鐵路其實有相當的意願，然而 1880 年代清政府卻在大型鐵路興建計畫上搖擺不定。1880 年，直隸提督劉銘傳提議以北京爲起點，興建兩條鐵路，引起官員激烈辯論。[120]北京言官以擾亂山川之靈、人民廬墓，以及戰時恐爲外人佔用爲由，強烈反對；而地方督撫則對財政問題表達顧慮。朝廷深知鐵路所需資本之龐大，因而在 1881 年 2 月下旨：

> 前因劉銘傳奏請籌造鐵路，當諭令李鴻章、劉坤一等籌商妥議。茲據先後覆奏，李鴻章以經費不貲，若借洋款，有不可不慎者三端；劉坤一則以有妨民間生計，且恐於稅釐有礙。所奏均係為慎重起見。鐵路火車為外洋所盛行，若以創辦，無論利少害多，且需費至數千萬，安

1877," *Modern Asian Studies* 7:4 (1973), pp. 647-676; Saundra Sturdevant, "Imperialism, Sovereignty, and Self-strengthening: A Reassessment of the 1870s," in Paul Cohen and John Eschrecker, eds., *Reform in Nineteen-Century China* (Cambridge: East Asian Research Center, Harvard University Press, 1976), pp. 63-70.

118 沈葆楨著，福建省文史研究館編，《沈文肅公牘》（揚州：江蘇廣陵古籍刻印社，1997），冊 2，頁 742。沈葆楨對江蘇巡撫吳元炳與上海道台馮焌光都表示同樣的意見，請見同書，冊 2，頁 616-618、621-623。

119 1876 年，福建巡撫丁日昌上奏，建議台灣應該購買鐵甲艦，購買武器，訓練軍隊，並興建鐵路作爲防禦之用。請見《洋務運動》，冊 2，頁 346-354。

120 《洋務運動》，冊 6，頁 137-139。

> 得有此鉅款？若借洋債，流弊尤多。疊據廷臣陳奏，僉以鐵路斷不宜開，不為無見。劉銘傳所奏，著無庸議。[121]

換句話說，當時朝廷決定不興建鐵路的原因，乃是由於政府無法承擔興建鐵路的鉅額經費。

即使如此，1880 年代到 1890 年代清朝官員仍然繼續推動鐵路興建。1887 年，台灣巡撫劉銘傳得到朝廷准許，興建台灣鐵路，他發行股票但無法募集足夠資本，最後由政府出資興建。[122]1889 年，李鴻章上奏興建天津到通州的鐵路，遭到許多官員反對，[123]反覆爭辯的結果，張之洞建議興建蘆溝橋與漢口之間的鐵路。然而，由於鋼軌沒有著落，資金更是致命傷，海軍衙門表示唯有從商股、官款與洋債三方面著手，才能解決資金的問題。[124]因此，1880 年代到 1890 年代由於聚集資本的不易，使得中國興建鐵路的計畫受到限制。

即便如此，蒸汽技術的引進已然推動晚清中國在工商機構上的轉變。1860 年代之後的華洋商人，運用公司制度來聚集資本，並投資資本密集的蒸汽技術；然而官督商辦的框架並未讓籌組股份公司成爲一種權利，因而商人各自選擇投資在市場較爲穩定的產業，或是規模小的事業。中國的工業革命，尚待更多的制度變革。

結　論

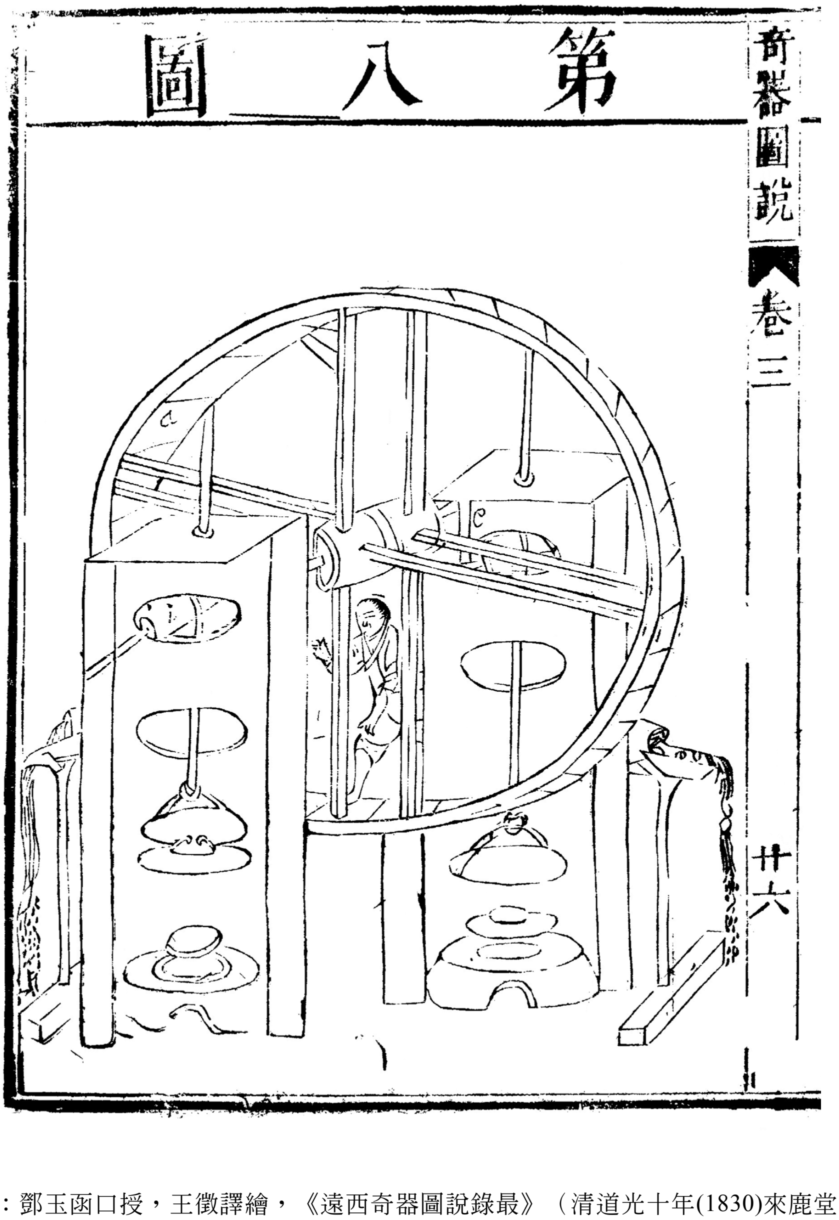
晚清中國對西方蒸汽技術是一個從誤解、摸索到大規模引進的過程。鴉片戰爭之後，清官員與士人歷經長期的摸索，才瞭解蒸汽技術的原理，也理解到工具機與機械繪圖不可或缺的重要性，因此在 1860 年代成立製造局，大規模引進蒸汽技術，也在接下來的三十年中有長足的進展。面臨快速發展的西方軍

121 宓汝成，《中國近代鐵路史資料》（北京：中華書局，1963），冊 1，頁 102-103。
122 李國祁，《中國早期的鐵路經營》，頁 70-73。
123 李國祁，《中國早期的鐵路經營》，頁 76-78。
124 《洋務運動》，冊 6，頁 261。

事技術以及與日本的競爭，晚清官員也深知取得新技術的急迫性，但是由於政府財政匱乏，使得官辦製造局的發展受到限制。再加上中國缺乏公司法，使得籌組公司，聚集資本不易，因而使得資本密集的近代技術發展規模更受限制。

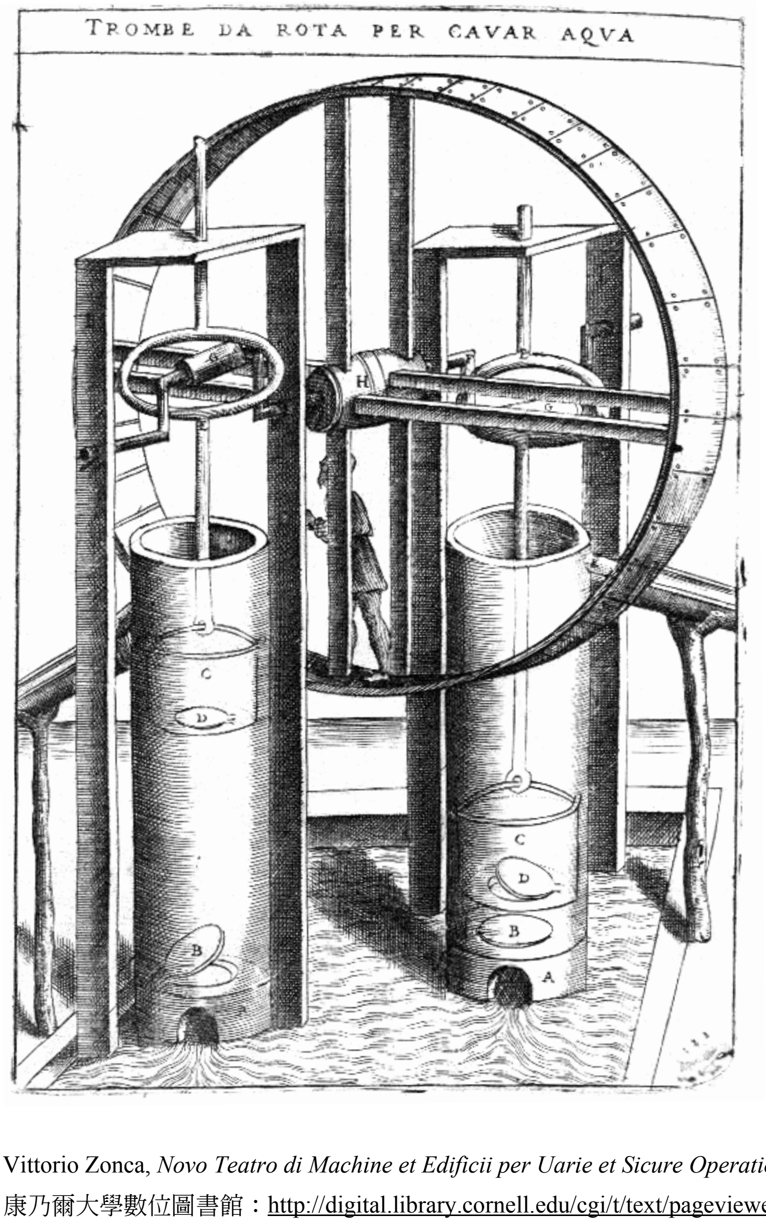
簡而言之，1840 年之後的五十年，是中國從傳統技術轉型進入近代技術的關鍵年代，藉由吸收西洋技術的知識與技藝內涵，以及採用西方聚集資本的機制，中國開始由傳統技術體系轉型到近代體系。首先，中國發現了蒸汽機可以做爲推動船艦以及工業製造的動力，不僅僅是洋商開設機器廠，清朝政府成立製造局，引進工具機與金屬熔煉打鑄的技術，更引進西式機械繪圖，作爲工匠與工程師之間的溝通工具。其次，這一段時間也是中國社會因爲技術轉變，而進入近代社會的開始。由於洋商機器廠與政府製造局引進新的製造工具與製造程序，工廠制度也隨之進入中國。因爲機器規律動作的特性，加上成本控制的考量，工廠制度於是規範了技術人員的作息與工作紀律。而由於近代技術的高度專業性，訓練專業工程師與工人的專業教育機構因此產生，改變了技藝傳承的方式與內涵。更甚者，技術轉變也推動更深層的制度變革，華商開始採用西方的公司制度來聚集資本，以投資資本密集的近代技術。因此，這是中國技術史與社會史上革命性的轉變，也是中國在二十世紀初期進行工業化的技術基礎。

圖一　《遠西奇器圖說錄最》中的一幅繪圖



資料來源：鄧玉函口授，王徵譯繪，《遠西奇器圖說錄最》（清道光十年(1830)來鹿堂刊本，中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館藏）。

圖二　《遠西奇器圖說錄最》所抄摹的義大利原圖

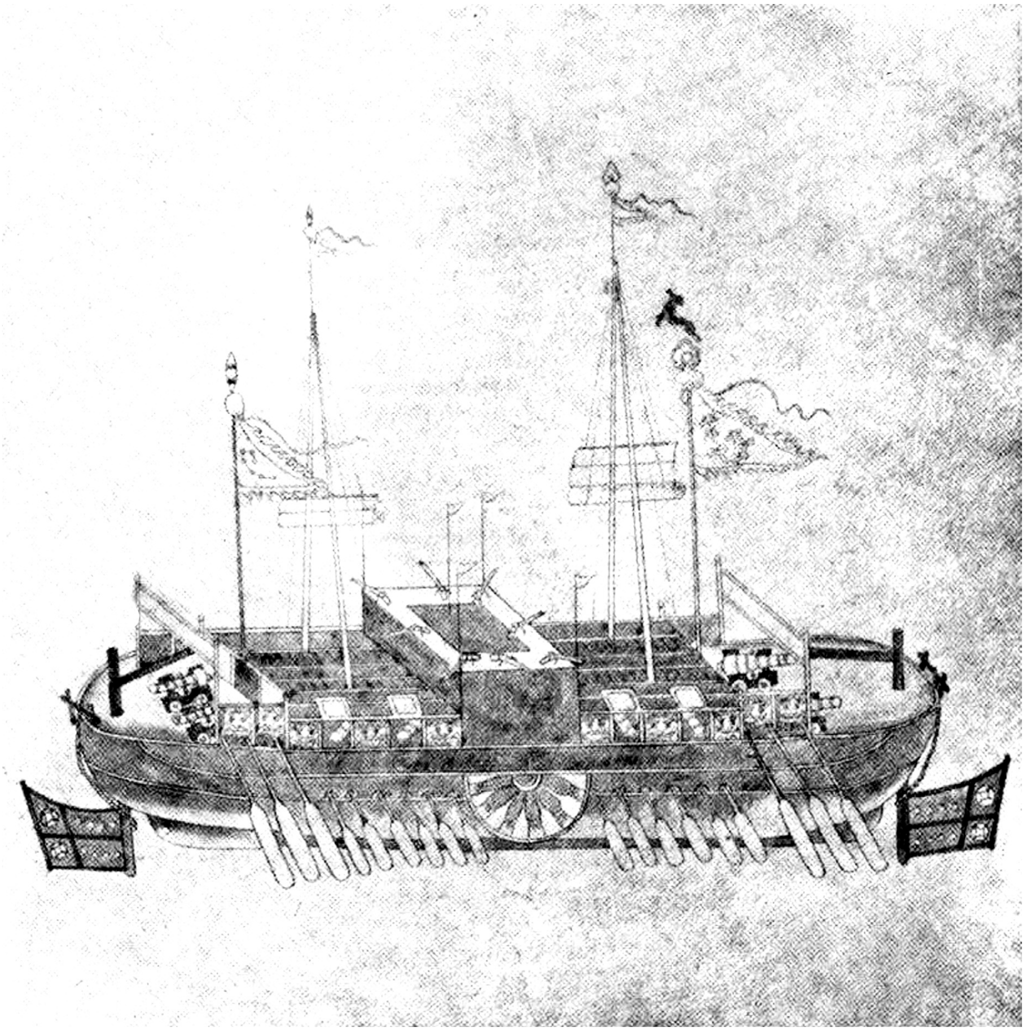


資料來源：Vittorio Zonca, *Novo Teatro di Machine et Edificii per Uarie et Sicure Operationi* (1607)，康乃爾大學數位圖書館：http://digital.library.cornell.edu/cgi/t/text/pageviewer-idx?c=kmoddl;cc=kmoddl;rgn=full%20text;idno=kmod045;didno=kmod045;view=image;seq=124;node=kmod045%3A39;page=root;size=s;frm=frameset (2009/5/30)

圖三　宋代的水輪船

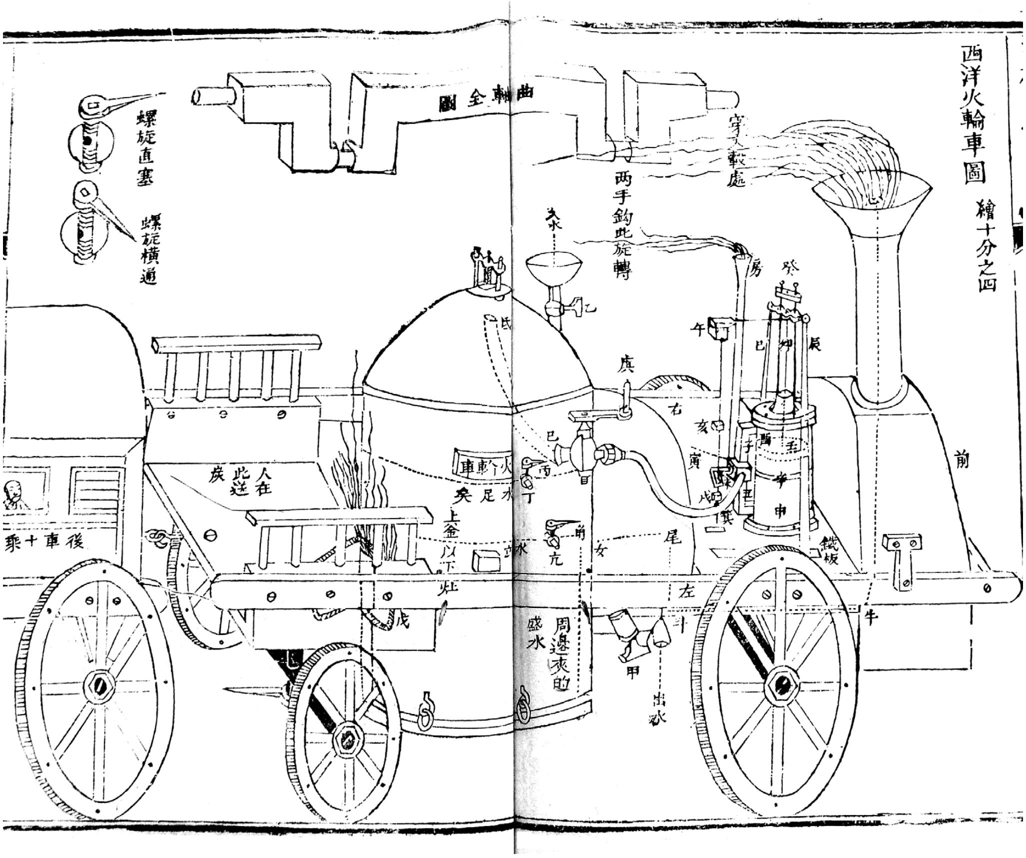
資料來源：俞昌會，《防海輯要》（清道光22年(1842)年刊本，中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館藏）。

圖四　長慶的水輪船



資料來源：*Gideon Chen, Lin Tse-hsü: Pioneer Promoter of the Adoption of Western Means of Maritime Defense in China* (Peking: Yenching University, 1934), between p. 36 & p. 37.

圖五　丁拱辰所描繪的火車頭



資料來源：丁拱辰，《演礮圖說輯要》（出版地不詳，民國34年(1945)據道光23年至咸豐元年間(1843-1851)刊本影印，廈門大學圖書館所藏，感謝廈門大學歷史系劉永華教授提供）。

徵引書目

一、史料

英國國家檔案館檔案，海軍部檔案 ADM 與外務部檔案 FO。

FO 228, Foreign Office: Consulates and Legation, China: General Correspondence.

ADM 125, Admiralty: China Station, Correspondence.

英商怡和洋行檔案 Jardine Matheson Archive (JMA)，英國劍橋大學圖書館藏。

A1/59-64, Ledgers.

A2/39-44, Journals.

A8/115/2, Memoranda and Accounts, Newchwang.

A8/118/11, Memoranda and Accounts, the Woosung Road Company.

B2/23, Private Shanghai to Hong Kong.

B7/15, Private Hong Kong to Shanghai.

B7/30, Private Newchwang to Shanghai.

C41/1-2, Private Shanghai to Hong Kong.

英國 Rose, Downs, and Thompson 檔案，英國赫爾(Hull)市立檔案館藏。

The North-China Herald

The Chinese Repository XVI, 1847.

二、專書

丁拱辰，《演礮圖說輯要》。出版地不詳，民國 34 年(1945)根據道光 23 年到咸豐元年間(1843-1851)刊本影印，廈門大學圖書館藏。

不著撰人，《夷匪犯境聞見錄》。東京：汲古書院據 1857 年寫本影印，1984。

中央研究院近代史研究所編，《海防檔》。台北：中央研究院近代史研究所，1957。

中國科學院近代史研究所史料編輯室、中央檔案館明清檔案部編輯組編，《洋務運動》，冊 1、2、5、6。上海：上海人民出版社，1961。

文慶等編，《籌辦夷務始末》，〈道光朝〉，卷 11、59、63。北平：故宮博物院據 1851 年抄本影印，1929。

王家儉，《李鴻章與北洋艦隊：近代中國創建海軍的失敗與教訓》。台北：國立編譯館，2000。

王爾敏，《清季兵工業的興起》。台北：中央研究院近代史研究所，1963。

左宗棠，《左文襄公全集》，冊 5。台北：文海出版社，1979。

安田朴、謝和耐等著，耿昇譯，《明清間入華耶穌會士和中西文化交流》。成都：巴蜀書社，1993。

何　烈，《清咸、同時期的財政》。台北：國立編譯館中華叢書編審委員會，1981。
李　斗，《揚州畫舫錄》。台北：學海出版社據清乾隆 60 年(1795)鐫自然盦藏板本影印，1969。
李國祁，《中國早期的鐵路經營》。台北：中央研究院近代史研究所，1961。
李鴻章，《李文忠公全集》，冊 7。台北：文海出版社，1962。
沈葆楨著，福建省文史研究館編，《沈文肅公牘》，冊 2。揚州：江蘇廣陵古籍刻印社，1997。
辛元歐，《中國近代船舶工業史》。上海：上海古籍出版社，1999。
周志初，《晚清財政經濟研究》。濟南：齊魯書社，2002。
林崇墉，《沈葆楨與福州船政》。台北：聯經出版事業公司，1987。
林慶元，《福建船政局史稿（修訂本）》。福州：福建人民出版社，1999。
宓汝成，《中國近代鐵路史資料》，冊 1。北京：中華書局，1963。
俞昌會，《防海輯要》。清道光 22 年(1842)年刊本，中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館藏。
姜　鳴，《龍旗飄揚的艦隊：中國近代海軍興衰史》。北京：生活．讀書．新知三聯書店，2002。
茅海建，《天朝的崩潰：鴉片戰爭再研究》。北京：生活．讀書．新知三聯書店，2005。
容　閎，《西學東漸記》。鄭州：中州古籍出版社，1998。
曾國藩，《曾國藩日記》。長沙：岳麓書社，1987。
華覺明，《中國古代金屬技術：銅和鐵造就的文明》。鄭州：大象出版社，1999。
賈楨等編，《籌辦夷務始末》，〈咸豐朝〉，卷 71。北平：故宮博物院據 1862 年抄本影印，1930。
熊月之，《西學東漸與晚清社會》。上海：上海人民出版社，1994。
鄭復光，《鏡鏡詅癡》。上海：商務印書館據 1848 年連筠簃叢書本影印，1936。
鄧玉函口授，王徵譯繪，《遠西奇器圖說錄最》。清道光十年(1830)來鹿堂刊本，中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館藏。
魏源編撰，《海國圖志》，卷 2、52、79、84，收入《續修四庫全書》，史部，地理類，冊 743-744。上海：上海古籍出版社據北京大學圖書館藏清光緒二年(1876)魏光燾平慶涇固道署刻本影印，1997。
羅玉東，《中國釐金史》。上海：商務印書館，1936。
Alder, Ken. *Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763-1815*. Princeton: Princeton University Press, 1997.
Baynes, Ken and Francis Pugh. *The Art of the Engineer.* Guildford, Surrey: Lund Humphries Publishers Ltd., 1981.
Biggerstaff, Knight. *The Earliest Modern Government Schools in China.* Ithaca: Cornell University Press, 1961.
Boulger, Demetrius C. *The Life of Sir Halliday Macartney.* London: John Lane & Co., 1908.
Bray, Francesca. *Technology and Gender: Fabrics of Power in Late Imperial China.* Berkeley: University of California Press, 1997.
Brooker, Peter Jeffrey. *A History of Engineering Drawing.* London: Chatto & Windus, 1963.

Cameron, Rondo, ed. *Banking in the Early Stages of Industrialization: A Study in Comparative Economic History*. New York: Oxford University Press, 1967.

Chan, Willington K. K. *Merchants, Mandarins, and Modern Enterprise in Late Ch'ing China.* Cambridge: East Asian Research Center, Harvard University Press, 1977.

Chen, Gideon. *Lin Tse-hsü: Pioneer Promoter of the Adoption of Western Means of Maritime Defense in China.* Peking: Yenching University, 1934.

Cohen, Paul A. *Discovering History in China: American Historical Writing on the Recent Chinese Past*. New York: Columbia University Press, 1984.

Crouzet, François, ed. *Capital Formation in the Industrial Revolution*. London: Methuen, 1972.

Evans, David and Mark Peattie. *Kaigun: Strategy, Tactics, and Technology in the Imperial Japanese Navy, 1887-1941*. Annapolis: Naval Institute Press, 1997.

Fairbank, John King, and Edwin O. Reischauer. *China: Tradition and Transformation*. Boston: Houghton Mifflin, 1973.

Faure, David. *Emperor and Ancestor: State and Lineage in South China.* Stanford: Stanford University Press , 2007.

Feuerwerker, Albert. *China's Early Industrialization: Sheng Hsuan-huai (1844-1916) and Mandarin Enterprise*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

Gardiner, Robert, ed. *Steam, Steel and Shellfire: The Steam Warship, 1815-1905.* Edison: Conway Maritime Press, 1992.

Giquel, Prosper. *The Foochow Arsenal and Its Results, from the Commencement in 1867 to the End of the Foreign Directorate, on the 16th of February, 1874*. Translated by H. Lang. Shanghai: Shanghai Evening Courier, 1874.

Gützlaff, Charles. *The Life of Taou Kwang, Late Emperor of China: With Memoirs of the Court of Peking; Including a Sketch of the Principal Events in the History of the Chinese Empire during the Last Fifty Years*. London: Smith, Elder and Co., 1852.

Hommel, Rudolf P. *China at Work.* Cambridge: MIT Press, 1969, reprint of the 1937 edition.

Ivins, William M., Jr. *Prints and Visual Communication.* Cambridge: MIT Press, 1969.

Joseph, Needham. *Science and Civilisation in China.* Multi Volumes. Cambridge: Cambridge University Press, 1954-2008.

Kennedy, Thomas L. *The Arms of Kiangnan: Modernization in the Chinese Ordnance Industry, 1860-1895*. Boulder: Westview Press, 1978.

Leibo, Steven A. *Transferring Technology to China: Prosper Giquel and the Self-strengthening Movement*. Berkeley: Institute of East Asian Studies, University of California, Berkeley, Center for Chinese Studies, 1985.

Locke, Robert R. *The End of the Practical Man: Entrepreneurship and Higher Education in Germany,*

France, and Great Britain, 1880-1940. Greenwich: JAI Press, 1984.

Pagani, Catherine, *Eastern Magnificence and European Ingenuity: Clocks of Late Imperial China*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001.

Pomeranz, Kenneth. *The Great Divergence: China Europe, and the Making of the Modern World Economy*. Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2000.

Pong, David. *Shen Pao-Chen and China's Modernization in the Nineteenth Century*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

Rawlinson, John. *China's Struggle for Naval Development, 1839-1895*. Cambridge: Harvard University Press, 1967.

Reports on the Trade at the Ports in China Opened by Treaty to Foreign Trade for the Year of 1868. Shanghai: Imperial Maritime Customs Press, 1869.

Rolt, L. T. C. *Tools for the Job*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1986.

Singer, Charles et al., eds. *A History of Technology*, vol. 3-5. Oxford: Oxford University Press, 1957-1958.

Smith, Crosbie. *The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.

Smith, George. *A Narrative of an Exploratory Visit to Each of the Consular Cities of China and to the Islands of Hong Kong and Chusan, in Behalf of the Church Missionary Society, in the Years 1844, 1845, 1846*. London: Seeley, Burnside & Seeley, 1847, second edition.

Sullivan, Michael. *The Meeting of Eastern and Western Art*. London: Thames and Hudson, 1973.

Treaties, Conventions, etc., Between China and Foreign State, vol. 1. Shanghai: Statistical Department of the Inspectorate General of Customs, 1908.

三、論文

方　豪，〈蒸汽機與火車輪船發明於中國〉，《東方雜誌》，卷 39 號 3，1943 年 3 月，頁 45-46。

王信忠，〈福州船廠之沿革〉，《清華學報》，卷 8 期 1，1932，頁 1-57。

王家儉，〈晚清時期我國科技發展的鳥瞰〉，《師大學報》，期 30，1985 年 6 月，頁 349-365。

白廣美、楊根，〈徐壽與黃鵠號輪船〉，收入楊根編，《徐壽與中國近代化學史》。北京：科學技術文獻出版社，1986。

汪敬虞，〈十九世紀外國侵華企業中的華商附股活動〉，收入黃逸平編，《中國近代經濟史論文選》。上海：上海人民出版社，1985。

林慶元，〈第一次鴉片戰爭前後我國仿造西式艦船的活動〉，《船史研究》，期 4-5，1989，頁 31-75。

張玉法，〈福州船廠之開創及其初期發展〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 2，1971 年 6 月，頁 201-205。

張玉法，〈清末民初的外資工業〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 16，1987 年 6 月，頁

129-249。

張玉法，〈清末民初的民營工業〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 18，1989 年 6 月，頁 315-561。

張柏春、田淼，〈中國古代機械與器物的圖像表達〉，《故宮博物院院刊》（北京），2006 年第 3 期，頁 81-96。

張麗端，〈從《活計檔》看清高宗直接控管御製器用的兩個機制〉，《故宮學術季刊》，卷 24 期 1，2006 年 9 月，頁 45-62。

陳在正，〈牡丹社事件所引起之中日交涉及其善後〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 22，下冊，1993 年 6 月，頁 29-59。

陳慈玉，〈上海機器織布局——設立背景、經營方針及其他有關問題的檢討〉，收入中央研究院近代史研究所編，《清季自強運動研討會論文集》，下冊。台北：中央研究院近代史研究所，1988。

黃一農，〈歐洲沉船與明末傳華的西洋大砲〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，第 75 本第 3 分，2004，頁 573-634。

黃一農，〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》，2004 年第 4 期，頁 74-105。

黃一農，〈明末薩爾滸之役的潰敗與西洋火砲的引進〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，第 79 本第 3 分，2008，頁 377-413。

劉克明、胡顯章，〈中西機械製圖之比較〉，《清華大學學報（哲學社會科學版）》，卷 11 期 2，1996，頁 91-98。

劉克明、楊叔子〈中國古代圖學對現代工程圖學的貢獻〉，《工程圖學學報》，1999 年第 3 期，頁 116-124。

劉廣京，〈從輪船招商局早期歷史看官督商辦的兩個型態〉，原收入張寄謙編，《素馨集：紀念劭循正先生學術論文集》。北京：北京大學出版社，1993；重印於招商局史研究會編，《招商局與近代中國研究》。北京：中國社會科學出版社，2005。

黎志剛，〈輪船招商局經營管理問題〉，《中央研究院近代史研究所集刊》，期 19，1990 年 6 月，頁 67-108。

Berg, Maxine. “Britain, Industry and Perceptions of China: Matthew Boulton, ‘Useful Knowledge’ and the Macartney Embassy to China, 1792-94.” *Journal of Global History* 1, 2006, pp. 269-288.

Brown, Shannon R. “Cakes and Oil: Technology Transfer and Chinese Soybean Processing.” *Comparative Studies in Society and History* 23:3, July 1981, pp. 449-463.

Cranmer-Byng, J. L., and Trevor H. Levere. “A Case Study in Cultural Collision: Scientific Apparatus in the Macartney Embassy to China, 1793.” *Annals of Science* 38:5, 1981, pp. 503-525

Currie, Blair C. “The Woosung Railroad (1872-1877).” *Papers on China* 20, 1966, pp. 49-83.

Golas, Peter. “Like Obtaining a Great Treasure.” In Francesca Bray et al., eds., *Graphics and Text in the Production of Technical Knowledge in China: The Warp and the Weft*. Leiden: Brill, 2007.

Gordon, Leonard. “Japan’s Abortive Colonial Venture in Taiwan, 1874.” *The Journal of Modern History*

32:2, June 1965, pp. 171-185.

Hsu, Immanuel C. Y. "Late Ch'ing Foreign Relations, 1866-1905." In Denis Twitchett and John K. Fairbank, eds., *The Cambridge History of China,* vol. 11. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

Hsu, Immanuel C. Y. "The Great Policy Debate in China, 1874: Maritime Defense V.S. Frontier Defense." *Harvard Journal of Asiatic Studies* 25, 1964-1965, pp. 212-228.

Latour, Bruno. "Drawing Things Together." In Michael Lynch and Steve Woolgar, eds., *Representation in Scientific Practice.* Cambridge: MIT Press, 1990.

Liu, Kwang-ching. "Steamship Enterprise in Nineteenth-Century China." *Journal of Asian Studies* 18, August 1959, pp. 435-455.

Liu, Kwang-ching. "The Ch'ing Restoration." In John K. Fairbank and Denis Twitchett, eds., *The Cambridge History of China*, vol. 10, part 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

Lo, Jung-pang (羅榮邦). "China's Paddle-wheel Boats: Mechanized Craft Used in the Opium Wars and Their Historical Background." 《清華學報》，新卷 2 期 1，1960 年 5 月，頁 189-206。

Pong, David. "Confucian Patriotism and the Destruction of the Woosung Railway, 1877." *Modern Asian Studies* 7:4, 1973, pp. 647-676.

Pong, David. "Keeping the Foochow Navy Yard Afloat: Government Finance and China's Early Modern Defence Industry, 1866-1875." *Modern Asian Studies* 21, 1987, pp. 121-152.

Sturdevant, Saundra. "Imperialism, Sovereignty, and Self-strengthening: A Reassessment of the 1870s." In Paul Cohen and John Eschrecker, eds., *Reform in Nineteen-Century China*. Cambridge: East Asian Research Center, Harvard University Press, 1976.

Thompson, E. P. "Time, Work-Discipline, and Industrial Capitalism." *Past and Present* 38, 1967, pp. 56-97.

Wright, David. "Careers in Western Science in Nineteenth-Century China: Xu Shou and Xu Jianjin." *Journal of the Royal Asiatic Society* 5:1, December 1995, pp. 49-90.

四、網路資料

康乃爾大學數位圖書館：http://digital.library.cornell.edu/cgi/t/text/pageviewer-idx?c=kmoddl;cc=kmoddl;rgn=full%20text;idno=kmod045;didno=kmod045;view=image;seq=124;node=kmod045%3A39;page=root;size=s;frm=frameset (2009/5/30)

History Driven by Steam:
The Steam Engine in Late Qing China, 1840-1890

Wang Hsien-chun*

Abstract

This article examines how steam technology influenced Chinese culture and society after the First Opium War. The steam engine had been the heart of the Industrial Revolution in the West. Machine tools and technical drawings were the essential elements in the process of building it. Yet the Chinese technological tradition lacked these two elements. Although the Chinese misunderstood the steam mechanism when they witnessed British steamships during the First Opium War, they soon learned from trial and error how the mechanism worked as well as the importance of machine tools and technical drawings. In the 1860s, to build steamships and produce modern weapons, the Qing government established modern shipyards and arsenals, importing machine tools and hiring foreign technicians to train Chinese workmen. However, the fiscal strain caused by the Taiping Rebellion and a shift in government policy caused the Qing government divert funds from supporting domestic shipyards to purchasing foreign warships. As well, the lack of institutions that could pool capital made both private entrepreneurs and government projects reluctant to employ steam technology. Nevertheless, the introduction of the corporation allowed for the capital investments necessary to develop steam technology in the late Qing. This article concludes that employing steam power led to revolutionary changes in Chinese technology, culture, and society.

Keywords: technology, steam engine, machine tools, drawings, institutions

* Institute of Modern History, Academia Sinica